

**Wenn Dinge ihren Halt verlieren:
Entwicklungspsychologische Experimente
zur intuitiven Physik der Reibung**

Abhandlung
zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultät
der
Universität Zürich

vorgelegt von
Marc Schwind

von Schaffhausen / SH

Angenommen im Herbstsemester 2010 auf Antrag von

Herrn Prof. Dr. Friedrich Wilkening
Herrn Prof. Dr. Mike Martin

Zürich, 2010

Inhaltsverzeichnis

1	DANK.....	4
2	ZUSAMMENFASSUNG	6
3	ENGLISH ABSTRACT.....	8
4	THEORETISCHER HINTERGRUND	9
4.1	Einleitung	9
4.2	Intuitive Physik	11
4.2.1	Jean Piagets Zugang zur intuitiven Physik	11
4.2.2	Piagets Stufentheorie.....	12
4.2.3	Intuitive Physik und das Konzept der Reibung	14
4.3	Aspekte der physikalischen Reibung	15
4.3.1	Haftreibung vs. Gleitreibung	17
4.3.2	Bedeutung der Reibung im Alltag	20
4.3.3	Problem der subjektiven Empfindung von Rauheit	21
4.3.4	Objektiver physikalischer Zusammenhang von Reibung und der schiefen Ebene	21
4.3.5	Intuitive Physik in Handeln und Urteilen	24
4.3.6	Alternative Konzepte beim physikalischen Urteilen	26
5	FORSCHUNGSFRAGEN UND METHODISCHER ZUGANG	31
5.1	Allgemeine Forschungsfragen	31
5.2	Methodischer Zugang.....	33
5.3	Versuchsaufbau	33
6	EXPERIMENT 1	35
6.1	Forschungsfrage Experiment 1a: Kritischer Winkel (Rauheit, Fläche).....	35
6.1.1	Hypothese Experiment 1a	35
6.1.2	Methode Experiment 1a	35
6.1.3	Resultate Experiment 1a.....	36
6.1.4	Diskussion	42
6.2	Forschungsfrage Experiment 1b: Rutschverhalten (Rauheit, Fläche)	43
6.2.1	Hypothese Experiment 1b	43
6.2.2	Methode Experiment 1b	43
6.2.3	Resultate Experiment 1b	44
6.2.4	Diskussion	48
7	EXPERIMENT 2	49

7.1	Forschungsfrage Experiment 2a: Kritischer Winkel (Rauheit, Gewicht)	
	20 Kinder, 20 Erwachsene	49
7.1.1	Hypothese Experiment 2a	49
7.1.2	Methode Experiment 2a	50
7.1.3	Resultate Experiment 2a.....	51
7.1.4	Diskussion	60
7.2	Forschungsfrage Experiment 2b: Kritischer Winkel (Rauheit, Gewicht)	
	40 Kinder, 40 Erwachsene	62
7.2.1	Hypothese Experiment 2b	62
7.2.2	Methode Experiment 2b	62
7.2.3	Resultate Experiment 2b	63
7.2.4	Diskussion	72
7.3	Forschungsfrage Experiment 2c: Kritischer Winkel (Rauheit, Gewicht)	
	6-13 jährige Kinder, Erwachsene.....	75
7.3.1	Hypothese Experiment 2c	75
7.3.2	Methode Experiment 2c	75
7.3.3	Resultate Experiment 2c.....	76
7.3.4	Diskussion	90
8	EXPERIMENT 3	93
8.1	Forschungsfrage Experiment 3a: Rauheitswahrnehmung	93
8.1.1	Hypothese Experiment 3a	93
8.1.2	Methode Experiment 3a	94
8.1.3	Resultate Experiment 3a.....	94
8.1.4	Diskussion	96
8.2	Forschungsfrage Experiment 3b: Rauheitswahrnehmung	
	Blinde	98
8.2.1	Hypothese Experiment 3b	98
8.2.2	Methode Experiment 3b	99
8.2.3	Resultate Experiment 3b	99
8.2.4	Diskussion	101
8.3	Forschungsfrage Experiment 3c: Rauheit (Winkel, Gewicht)	102
8.3.1	Hypothese Experiment 3c	102
8.3.2	Methode Experiment 3c	102
8.3.3	Resultate Experiment 3c.....	103
8.3.4	Diskussion	111
9	ALLGEMEINE DISKUSSION	113
9.1	Aufgabenspezifität	113
9.2	Wissensdissoziation und Misskonzepte	114
9.3	Absolute Genauigkeit	116
9.4	Praktische Implikationen.....	116

9.5	Ausblick	117
9.6	Fazit.....	119
10	LITERATUR.....	120
11	ANHANG.....	124
12	CURRICULUM VITAE.....	127

1 Dank

Eine Dissertation ist ein Produkt aus einer intensiven Zeit des Planens, Organisierens, Datenerhebens, Auswertens und Interpretierens, Schreibens und Lernens. An dieser Stelle möchte ich all jenen meinen herzlichsten Dank aussprechen, die mich in dieser Zeit in irgendeiner Form unterstützt haben. Meine Dankbarkeit gilt aber nicht weniger denjenigen Personen, die mir im Laufe meines Lebens und meiner Ausbildung all das Wissen vermittelt haben, welches mich zu dieser Arbeit befähigte. All jene Personen namentlich aufzuführen würde den Rahmen dieses Buches bei weitem übersteigen, deshalb möchte ich mich an dieser Stelle auf die Nennung jener Personen beschränken, die mich während meiner Assistenz- und Doktorandenzeit unterstützt haben.

Mein herzlichster Dank gilt besonders:

- meinem Doktorvater Prof. Dr. Friedrich Wilkening, für seine fördernde und motivierende Unterstützung,
- meinem Co-Referenten, Prof. Dr. Mike Martin, für seine prompte und fachkompetente Unterstützung,
- dem Team der Allgemeinen und Entwicklungspsychologie des Psychologischen Instituts der Universität Zürich für soziale und fachliche Unterstützung,
- meinen Kollegen Jan Rauch, Simone Schaub und Wenke Möhring für ihre stete Präsenz und aufmunternden Diskussionen,
- Andrea Frick für ihre wertvollen Gespräche und konstruktiven Diskussionen,
- Stephan Christen für seinen fachmännischen Computersupport,
- Manuela Marx für ihre soziale Unterstützung,
- allen Kindern und Erwachsenen, die an den Untersuchungen teilgenommen haben und damit einen essentiellen Beitrag dazu geleistet haben,
- den Eltern für das Vertrauen, ihre Kinder an den Untersuchungen teilnehmen zu lassen,
- den Schulleitungen und der Lehrerschaft der Schulhäuser "Schanz" Stein am Rhein, "Rosenberg" und "Kirchacker" Neuhausen, "Breite" und "Steig" Schaffhausen, ohne deren Unterstützung die Datenerhebung in dem Masse nicht hätte durchgeführt werden können,
- Natalie Holland und Romedi Zegg für ihre Bereitschaft und Zeit, einen Teil der Datenerhebung durchzuführen,
- Hans-Ludwig Schwind für das Herstellen der Versuchsaapparatur,
- Henri Gossweiler für das Herstellen einer zweiten Garnitur der Versuchsquader,

- meinen Eltern, die mir nicht nur das Studium ermöglichten, sondern mich auch während der Dissertation in vielerlei Hinsicht unterstützten.

2 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie Kinder und Erwachsene auf kognitiver Ebene vorgegebene Dimensionen in Aufgaben integrieren, die im Zusammenhang mit der Reibung auf einer schiefen Ebene stehen. Aufgrund der Untersuchungen wurden Datensätze von insgesamt 260 Kindern im Alter von 6 bis 13 Jahren sowie 102 Erwachsenen ausgewertet. In einem Teilexperiment des dritten Experiments (3b) nahmen zusätzlich 5 blinde Erwachsene teil. Die Experimente setzten sich jeweils aus verschiedenen Teilaufgaben zusammen, wobei sowohl das implizite wie auch das explizite Wissen erfasst wurden.

Im Experiment 1 sollten die Versuchspersonen in einer impliziten Urteilsaufgabe denjenigen Winkel einer schiefen Ebene einstellen, bei dem ein Objekt ins Rutschen käme (kritischer Winkel). Dabei wurden dessen Rauheit und die Grösse der Auflagefläche systematisch variiert. Mit einem Fragebogen wurde im Anschluss daran das explizite Wissen erfasst. In Experiment 2 wurde die Urteilsaufgabe bezüglich des kritischen Winkels mit Variation der Rauheit und des Gewichts erfasst, ebenfalls mit einem Fragebogen das explizite Wissen. In Experiment 3 sollte mit Variation der Steilheit der schiefen Ebene und des Gewichts die notwendige Rauheit angegeben werden, die ein Objekt gerade am Rutschen hindert.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Frage nach dem kritischen Winkel in Abhängigkeit von der Grösse der Fläche und der Rauheit (Experiment 1) die Kinder und Erwachsenen beide Faktoren in multiplikativer Art und Weise miteinander verknüpften. Bei der Frage nach dem kritischen Winkel in Abhängigkeit der Rauheit und des Gewichts (Experiment 2) zentrierten hingegen beide Altersgruppen normativ korrekt auf den Faktor Rauheit. Musste die nötige Rauheit angegeben werden, damit das Versuchsobjekt bei einem vorgegebenen Winkel nicht rutscht (Experiment 3), so vernachlässigten die Versuchspersonen korrekterweise das Gewicht. Aufgrund von Einzelanalysen konnten zudem altersspezifische Effekte festgestellt werden. Bei der quantitativen Analyse unterschätzten alle Versuchspersonen die normativen Werte, wobei sich ein Alterstrend abzeichnete. Die Kinder lagen insgesamt näher an den physikalisch normativen Werten als die Erwachsenen.

Obschon auf impliziter Ebene die Versuchspersonen die Faktoren mehrheitlich korrekt integrierten, wurde auf expliziter Ebene über die Reibungszusammenhänge entgegen der physikalischen Norm geantwortet. Die Mehrheit der Personen hielt beim kritischen Winkel neben der Rauheit auch das Gewicht und die Flächengrösse für relevante Faktoren.

Bei der taktilen Wahrnehmung der Rauheit stellten die Gruppen von 15 möglichen Graduierungsstufen deren 5 bis 7 Unterscheidungen fest. Blinde Versuchspersonen hingegen erspürten im Durchschnitt gut 13 Kategorien.

Aufgrund der verbalen Äusserungen der Versuchspersonen in den verschiedenen Experimenten kristallisierten sich Flächen- und Gewichtsmisskonzepte heraus, die aus alltäglichen Erfahrungen als "bestmögliche" Alternative auf die neue Situation übertragen werden. Die angegebenen Überlegungen der alternativen Konzepte sind zwar phänomenologisch nachvollziehbar, stimmen im vorgegebenen Kontext jedoch physikalisch nicht. Ein Grund für dieses Misskonzept könnte darin gesehen werden, dass im Alltag die Zugkraft direkter und bewusster erfahren wird als die Reibungskraft. Aufgrund der Daten kann eine Wissensdissoziation zwischen implizitem und explizitem Wissen festgehalten werden.

3 English Abstract

The aim of the present study was to find how children and adults combine cognitive and perceptual approaches when estimating the amount of friction of an object on an inclined plane. Data was collected from 260 children (age range 6-13 years) and 102 adults. As an extension to this sample, additional 5 blind adults were also studied in a third test (3b). After each experiment, the participants were asked to explain what had actually happened with respect to their explicit knowledge.

In Experiment 1, the participants placed a test object on an inclined plane and were asked to estimate the critical angle at which it would begin to slide, while the size of the object and roughness of the plane were systematically varied. In Experiment 2, the angle of the inclined plane was fixed, with systematic variation of roughness and weight, and participants were asked if the object will begin to slide. In Experiment 3, the roughness of the object remained constant while the inclined angle and weight were systematically varied.

Results show that children and adults incorrectly integrate roughness and surface multiplicatively (Experiment 1), but correctly identify the importance of roughness combined with weight (Experiment 2) when asked for the critical angle. When they had to choose the required roughness of the object's surface such that it would not slip, the participants correctly disregarded weight (Experiment 3), however. The youngest children (6-7 years) adjusted the inclined plane closest to reality, whereas the adults significantly underrated the critical angle.

In the tactile perception condition, blind participants detected up to 14 categories of roughness (of 15), whereas sighted participants appeared to perceive 5 to 7 categories. All participants underestimated the required values with a clear trend showing decline in accuracy linked to age. Children consistently produced a more accurate estimate compared to adults.

To summarize, the results show that there is a gap between implicit and explicit knowledge in the estimation of friction which can be observed from young children up to adults, and that young children show quantitatively better results than adults.

4 Theoretischer Hintergrund

4.1 Einleitung

Die Reibung ist eine physikalische Kraft, ohne die beispielsweise Fortbewegung, Autofahren oder Fussballspielen praktisch unmöglich wäre. Schon das Kleinkind erfährt Reibung, wenn es krabbelt, und es nutzt diese physikalische Kraft nahezu optimal bei den ersten Gehversuchen, beim Ballwerfen und später beim Fahrradfahren.

Gerade weil die Reibungskraft im Alltag eine wesentliche Rolle spielt, erstaunt es, dass dieses Thema in der psychologischen Forschung bisher wenig Beachtung fand (Joh, Adolph, Narayanan & Dietz, 2007; Joh, Adolph, Campbell & Eppler, 2006), obschon Teilaspekte, wie z.B. die Wahrnehmung der Rauheit von Oberflächen, mehrfach untersucht wurden (Cohen & Cohen, 1994a; Cohen & Cohen, 1994b; Corneli & Vicovaro, 2007)). Aus physikalischer Sicht spielt der Haftreibungskoeffizient, ein Mass für die Haftkraft zweier sich berührenden Oberflächen, eine zentrale Rolle, und es gilt: Je grösser der Haftreibungskoeffizient μ , desto mehr Haftreibung ist gegeben. Wird diese Haftreibung durch Aufbringen von mehr Kraft überwunden, gerät die Masse in Bewegung.

Im Alltag zeigt sich das menschliche Verhalten als sehr gut an die Umweltbedingungen angepasst. Die physikalischen Gegebenheiten folgen weitgehend den Newtonschen Gesetzen, werden aber nicht ständig von der agierenden Person neu berechnet; dies wäre viel zu beschwerlich. Selbst Physikstudenten scheinen die mechanischen Prinzipien häufig nur schwer zu verstehen (Champagne, Klopfer & Anderson, 1980). Als Faktoren, die das Lernen der klassischen Mechanik beeinflussen, fanden die Autoren einerseits bei Studenten mangelnde mathematische Fähigkeiten in den Bereichen Algebra und Trigonometrie. Andererseits sehen sie einen weiteren Faktor in der allgemeinen kognitiven Entwicklung, besonders wenn spezifische kognitive Prozesse nötig sind wie beim Problemlösen von physikalischen Aufgaben. Darüber hinaus sehen die Autoren einen weiteren Faktor im vermeintlichen physikalischen Vorwissen, das Studenten aus ihrer bisherigen "Welterfahrung" mit in den Physikunterricht bringen. Das Lernen von neuen physikalischen Zusammenhängen kann durch vermeintliches Vorwissen negativ beeinflussen werden (Champagne et al., 1980) und kann resistent und schwer veränderbar sein (Clement, 1981). Clement untersuchte Prinzipien der Kraft und Beschleunigung im Bereich der Mechanik und fand Misskonzepte, die bei den Studenten nach expliziten Erklärungen teilweise weiterbestanden. Er begründet dies dadurch,

dass mathematische Formeln sowie das Rechnen das eigentliche Verständnis der Physik verdecken würden.

4.2 Intuitive Physik

4.2.1 Jean Piagets Zugang zur intuitiven Physik

Die intuitive Physik wurde intensiv von Jean Piaget erforscht, der sich anfänglich eher zufällig darauf einliess. Seine Interessen lagen seit seiner Jugend im Bereich der Naturwissenschaften, und er schrieb schon in jungen Jahren Arbeiten über Schalentiere. Aufgrund der Beschäftigung mit der Philosophie, Religion und Logik interessierten ihn immer mehr die Erkenntnistheorie und die Frage, wie man zu Wissen gelange und was Wissen überhaupt sei. Die philosophische Richtung hielt er für zu spekulativ, demgegenüber die Naturwissenschaften als zu faktenorientiert. In diesem Dilemma suchte er nach einem Weg zur Vereinigung beider Richtungen.

Bei einer Anstellung an der psychiatrischen Klinik Bleulers in Zürich lernte Piaget die Psychoanalyse Freuds und die Ideen Jungs kennen, worauf er sich auch mit der Psychologie des Kindes befasste. Im Jahr 1920 arbeitete Piaget bei Theophile Simon in Paris, wo er mit der Übersetzung eines standardisierten Intelligenztests ins Französische beschäftigt war. Beim Umgang mit diesen Tests und dem Befragen von Kindern entdeckte Piaget, dass Kinder gleichen Alters häufig gleichartig "falsche" Antworten gaben. Weiter beobachtete er, dass bei unterschiedlichen Altersstufen verschiedene Arten üblicher falscher Antworten vorkamen und folgerte, dass sich die Gedanken jüngerer Kindern lediglich in der Qualität von denen älterer Kinder unterscheiden, diese jedoch nicht intelligenter seien.

Die Lehren, die Piaget aus diesen Erkenntnissen zog, veranlassten ihn, sich der empirischen Forschung des kindlichen Denkens zu widmen, und er bediente sich der Methoden der Psychiatrie, um das kindliche Denken zu erforschen. So konnte er – entgegen den standardisierten Verfahren – unmittelbar auf das Kind eingehen und zeigen, dass diese Methode für die Untersuchung von kindlichem Denken sinnvoll war und die Logik anstelle der Sprache der Weg sein musste, um das Denken zu beschreiben. Damit hatte er einen Weg gefunden, die naturwissenschaftlichen Methoden und die Philosophie zu vereinen (siehe Ginsburg & Oppen, 1989).

4.2.2 Piagets Stufentheorie

Als Ausgangspunkt für Piagets Stufentheorie steht die Grundüberlegung, dass sich Intelligenz und Entwicklung auf struktureller und funktionaler Ebene betrachten lassen. Strukturell bezieht sich dabei auf die hinter den kognitiven Fähigkeiten stehenden biologischen Faktoren, z.B. die zerebrale Organisation, die in ihrer Komplexität die kognitiven Strukturen ideal organisiert. Daneben sieht der funktionale Aspekt vor, dass es durch die kognitiven Strukturen möglich wird, Wissen zu erlangen und sich in der Umwelt optimal zu Recht zu finden. Dabei findet eine stete Anpassung an die Umwelt statt (Adaptation), und die kognitiven Strukturen können der Umwelt und ihren Erfordernissen angepasst werden (Akkommodation), oder die Gegebenheiten der Umwelt werden durch bestehende kognitive Fähigkeiten den eigenen Bedürfnissen angepasst (Assimilation). Im Zusammenspiel von Akkommodation und Assimilation wird Wissen erlangt, wobei Piaget als Ziel der Entwicklung eine Balance der beiden Funktionen (Äquilibration) sieht.

In der Entwicklung verläuft nach Piaget die Äquilibration kontinuierlich, wobei die Balance nicht immer gegeben ist. Kann im Entwicklungsverlauf nicht sinnvoll assimiliert werden, kommt es zu einer qualitativen Änderung der Struktur, wodurch ein besseres Verstehen der Umwelt möglich wird und das Individuum eine neue Entwicklungsstufe erreicht. Piaget beschreibt vier grosse Entwicklungsstufen, die aufeinander aufbauen und jede in sich eine kohärente Struktur darstellt. Er postulierte diese Stufen aufgrund der Beobachtungen, die er bei seinen Kindern machte. Die einzelnen Stufen werden im Folgenden kurz skizziert.

Die erste Stufe, die sensumotorische Stufe, beginnt nach Piaget gleich nach der Geburt und zieht sich bis etwa zum Ende des zweiten Lebensjahres hin. Sie besteht insbesondere aus den angeborenen Reflexen der Babys, woraus sich die weiteren höheren kognitiven Formen entwickeln. Ein Phänomen, das sich mit ca. acht bis zwölf Monaten zeigen lässt, ist der so genannte A-nicht-B-Fehler. Im Versuch wird ein für das Kind interessantes Objekt mehrmals am selben Ort A mit einem Tuch versteckt. Nach mehrmaligem Wiederfinden des Objekts an Ort A wird dieses vor den Augen des Kindes an Ort B versteckt, wobei an Ort A immer noch ein Tuch liegt. Das Kind sucht nun nicht an Ort B, wo das Objekt tatsächlich versteckt ist, sondern am alten Ort A. Für Piaget können diese Kinder noch nicht die eigene Person und die externe Welt trennen. Am Ende der sensumotorischen Stufe sind die Kinder in der Lage, für einige Zeit ein externes Objekt oder eine Person mental zu repräsentieren, also zu speichern. Für Piaget war dafür die verzögerte Nachahmung ein Hinweis: Es ist die Fähigkeit des Kindes,

z.B. einen seltsamen Gesichtsausdruck auch noch nach mehreren Stunden wiederholen zu können. Zum Abschluss der sensumotorischen Stufe erlangt das Kind das Konzept der Objektpermanenz. Es entwickelt die Fähigkeit zu erkennen, dass Objekte oder Personen auch dann weiterexistieren, wenn sie nicht mehr sichtbar wahrgenommen werden können.

In der zweiten, der präoperationalen Stufe, ca. zwischen 2 und 6 Jahren, ist das Kind in der Lage, einem Objekt eine symbolische Bedeutung zuzumessen. Diese Symbolfunktion baut auf der mentalen Repräsentation der vorangegangenen Stufe auf und stellt einen grossen Fortschritt in der kognitiven Entwicklung dar. Allerdings können Kinder auf der präoperationalen Stufe noch nicht eine andere Perspektive übernehmen; vorherrschend ist der Egozentrismus, wie anhand des Drei-Berge-Versuchs demonstriert werden kann: Dem Kind wird ein Modell von drei nebeneinander liegenden Bergen gezeigt, und es soll einschätzen, wie die Szene von einer Puppe, die an einer anderen Seite des Modells sitzt, gesehen wird. Das Kind auf der präoperativen Stufe meint nun, dass die Puppe dasselbe sehe, wie es selbst. Die egozentrische Perspektive scheint die einzig mögliche zu sein. Ein weiteres Zeichen der präoperationalen Stufe ist das Unvermögen, mehrere Merkmale eines Objekts korrekt zu betrachten. Es wird noch auf ein salientes Merkmal fokussiert, und anderes wird vernachlässigt. Die kognitiven Fähigkeiten des Kindes sind noch nicht so weit ausgebildet, dass es mit mehreren Informationen adäquat operieren kann. Deshalb spricht Piaget von der präoperationalen Stufe.

Auf der dritten, der konkret-operationalen Stufe, ca. zwischen dem 6. und 13. Lebensjahr, können Kinder kognitive Operationen durchführen, allerdings noch gebunden an konkrete Situationen. Als Beispiel gilt hier das Invarianzkonzept, dargestellt an der Umschüttungsaufgabe: Einem Kind werden zwei gleiche zylindrische Gläser gezeigt, beide gleich hoch mit Wasser gefüllt. Das Kind erkennt, dass die Mengen in beiden Gläsern gleich sind. Nun wird das Wasser des einen Gefässes in ein schmaleres und höheres umgeschüttet. Das Kind auf der konkret-operationalen Stufe erkennt, dass die Wassermenge nach dem Umschütten gleich geblieben ist, während es auf der präoperationalen Stufe angibt, im höheren Glas befände sich auch mehr Wasser. Als weiteres Beispiel für das Aufzeigen der konkret-operationalen Stufe gelten Aufgaben zur Transitivität. Ein Kind, das konkret-operational denkt, kann aufgrund der Information, dass ein Stab A länger ist als ein Stab B und Stab B länger als Stab C, logisch schliessen, dass Stab A auch länger sein muss als Stab C. Einem Kind auf der präoperationalen Stufe gelingt dies noch nicht.

Die vierte Stufe, die formal-operationale Stufe, bildet nach Piaget den Abschluss der kognitiven Entwicklung. Sie wird von den meisten Kindern zwischen 12 und 14 Jahren erreicht. Während auf der vorangegangenen Stufe das Denken auf konkrete Situationen beschränkt war, kann das Kind nun über die konkrete Situation hinaus denken. Es ist in der Lage, Hypothesen zu bilden und Schlussfolgerungen abzuleiten. Piaget nennt dies auch hypothetico-deduktives Denken. In einem Pendelversuch werden dem Kind zwei Pendel gezeigt, das eine mit einem schweren Gewicht an einem kurzen Faden und eines mit einem leichten Gewicht an einem langen Faden. Die zu beantwortende Frage ist, was die Oszillationsgeschwindigkeit bestimmt. Das formal-operational denkende Kind wird nach einem systematischen Plan die Variablen verändern und die möglichen Kombinationen prüfen. Auf diese Weise wird es herausfinden, dass nur die Variable "Länge" die Pendelgeschwindigkeit bestimmt. Die hohe kognitive Leistung des experimentell-logischen Vorgehens unterscheidet sich von der realitätsbezogenen Sicht des konkret-operational denkenden Kindes enorm. Erst jetzt kann es im Sinne Piagets als "kleiner Wissenschaftler" auf kognitiv hohem Niveau Erkenntnisse gewinnen und sich in formalen Systemen der Logik bewegen (siehe Wilkening, Freund & Martin, 2008).

4.2.3 Intuitive Physik und das Konzept der Reibung

Die von Piaget beschriebenen Stufen der kognitiven Entwicklung wurden mehrfach Gegenstand der Forschung, und es konnte in der Folge gezeigt werden, dass es bei den meisten untersuchten physikalischen Inhalten eine Entwicklung von der Zentrierung auf eine Dimension hin zur Integration mehrerer Dimensionen kommt (Anderson, 1991). Das Wissen über die Reibung war bei Piaget selbst nicht Gegenstand seiner Forschung, wobei seine untersuchten Themengebiete teilweise auch aus der Mechanik stammten (z.B. Balkenwaage). Mit Bezug zu seiner Stufentheorie haben Kinder auf der präoperationalen Stufe eine starke Tendenz, auf nur ein - meist salientes - Merkmal eines Objekts zu fokussieren und dabei andere wichtige Merkmale zu ignorieren.

Die intuitive Physik verbindet Perzeption-Kognition sowie Kognition-Aktion und beinhaltet die Verbindung von qualitativer und quantitativer Integration der physikalischen Dimensionen und ist zudem reich an Basiskonzepten, die mittels Funktionalem Messen nach Anderson (1982) erhoben werden können. Dadurch kann ein direkter Vergleich mit einem einheitlichen Antwortformat (Urteile über die untersuchten Dimensionen anhand einer stufenlosen Skala)

gewährleistet werden, und es ermöglicht die Ermittlung der internen Repräsentation der erfragten Dimensionen. Das Funktionale Messen eignet sich zudem durch seine Antwortmodalität zur non-verbalen Urteilsbildung und ist somit auch bei jüngeren Kindern geeignet.

Beim Untersuchen des Wissens über die Reibung und im Speziellen der Haftreibung, ist das Funktionale Messen eine geeignete Methode, da verbale Erklärungen der Versuchspersonen über die physikalischen Zusammenhänge der Reibung meist fehlerhaft sind, wie noch gezeigt wird. Um den physikalischen Hintergrund zum Thema Reibung zu verstehen, sollen die physikalischen Zusammenhänge im nachfolgenden Kapitel erläutert werden. Es wird zunächst die historische Beschreibung der Newtonschen Mechanik aufgegriffen und im Folgenden auf die verschiedenen Reibungsarten eingegangen. Dabei wird auf die Haftreibung und deren Zusammenhang mit der schiefen Ebene im Besonderen eingegangen.

4.3 Aspekte der physikalischen Reibung

Um physikalische Gesetze auf psychologischer Ebene und in Anbetracht der kognitiven Algebra zu untersuchen, ist es unabdingbar, die Reibung als physikalische Grösse einordnen zu können und die Zusammenhänge zu verstehen. Es werden deshalb zunächst die Newtonschen Gesetze erläutert, anschliessend wird auf die in der Natur vorkommenden Kräfte eingegangen.

Newtonsche Axiome

In der klassischen oder Newtonschen Mechanik können alle Phänomene mit Hilfe von drei Sätzen beschrieben werden, welche die Beschleunigung eines Körpers mit seiner Masse und die auf ihn wirkenden Kräfte in Verbindung bringen. Die heutige verwendete Formulierung der Newtonschen Axiome lassen sich nach den drei Prinzipien der Trägheit, der Aktion und der Reaktion definieren. Das erste Newtonsche Axiom ist das *Trägheitsprinzip*. Danach bleibt ein Körper in Ruhe oder bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit weiter, solange keine äussere resultierende Kraft auf ihn einwirkt. Die resultierende Kraft ist dabei die Vektorsumme aller Kräfte, die an einem Körper angreifen. Das zweite Newtonsche Axiom, das *Aktionsprinzip*, beschreibt, dass die Beschleunigung eines Körpers umgekehrt proportional zu seiner Masse ist und direkt proportional zur resultierenden Kraft, die auf ihn wirkt. Das dritte Newtonsche Axiom, das *Reaktionsprinzip*, besagt, dass Kräfte immer paarweise auftreten.

Wenn von einem Körper A eine Kraft auf Körper B wirkt, so wirkt eine gleich grosse, aber entgegengesetzte Kraft von Körper B auf Körper A.

In der Natur vorkommende Kräfte

Alle in der Natur vorkommenden Kräfte lassen sich auf vier grundlegende, zwischen Elementarteilchen auftretende Wechselwirkungen und die zugehörigen Fundamentalkräfte zurückführen. Die *Gravitationskraft* zwischen der Erde und einem Körper nahe der Erdoberfläche entspricht der Gewichtskraft des Körpers. Sie ist dafür verantwortlich, dass z.B. die Planeten auf ihren Umlaufbahnen um die Sonne gehalten werden. Die *elektromagnetische Kraft* beinhaltet sowohl elektrische als auch magnetische Kräfte. Diese wirken z.B., wenn ein am Pullover geriebener und somit elektrostatisch aufgeladener Kamm die Haare zum stehen bringt. Die *starke Wechselwirkung* bewirkt, dass Bestandteile der Atomkerne zusammengehalten werden. Sie kommt nur in bestimmten Elementarteilchen vor, den Hadronen (hadronische Kraft). Die *schwache Wechselwirkung* besitzt wie die starke Wechselwirkung auch eine sehr kleine Reichweite und ist für eine bestimmte Art des radioaktiven Zerfalls verantwortlich (Tipler, 2004).

Die meisten Kräfte, die auf makroskopische Gegenstände des Alltags einwirken, sind Kontaktkräfte. Sie sind das Resultat molekularer Wechselwirkungen und sind Kräfte, die die Moleküle des einen Körpers auf jene des anderen Körpers ausüben. In ihnen manifestiert sich auf komplizierte Art und Weise die elektromagnetische Kraft. Wenn nun zwei Körper miteinander in Kontakt sind, so üben sie aufgrund der Wechselwirkung ihrer Moleküle Kräfte aufeinander aus. Unter bestimmten Umständen üben die in Kontakt stehenden Körper auch Kräfte aus, die parallel zur Oberfläche des Körpers liegen. Diese parallel gerichtete Komponente einer Kontaktkraft ist die *Reibungskraft*, wobei verschiedene Reibungskräfte unterschieden werden.

Wird auf eine auf dem Boden liegende Kiste eine geringe Kraft ausgeübt, so wird sich die Kiste nicht bewegen, da der Boden eine horizontal gerichtete *Haftreibungskraft* F_R entgegensetzt. Wird die Haftreibungskraft überwunden, so gleitet die Kiste über den Boden und es werden ständig molekulare Wechselwirkungen aufgebaut und wieder getrennt. Diese Kraft, die der Bewegung entgegenwirkt, ist die *Gleitreibungskraft* F_G . Rollen Reifen mit konstanter Geschwindigkeit über eine horizontale Strasse ohne durchzudrehen, dann tritt weder Haft- noch Gleitreibung auf. Dennoch ist eine Kraft nötig, um die Drehung der Räder mit konstanter

Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten. Man spricht von der Rollreibung. Die beschriebenen Reibungsarten werden jeweils durch einen Koeffizienten, die Haft-, Gleit-, Rollreibungszahl, beschrieben. Sie ist definiert als das Verhältnis jener Kraft, die notwendig ist, um die entsprechende Kraft aufrecht zu erhalten.

Da in der vorliegenden Arbeit die Haftreibung in Abgrenzung zur Gleitreibung behandelt wird, wird im nächsten Kapitel genauer auf diese Kraft eingegangen.

4.3.1 Haftreibung vs. Gleitreibung

Die Reibungskraft ist eine komplexe und bis heute nicht vollständig verstandene Erscheinung, die ihren Ursprung in der Anziehung der Moleküle zwischen zwei eng beieinander liegenden Kontaktflächen hat (Tipler, 2004).

Abbildung 4-1 zeigt eine graphische Darstellung der auf einen Quader einwirkenden Kräfte, wobei die Gewichtskraft F_G (Anpresskraft) senkrecht auf das Objekt wirkt. Als Reaktion wirkt die Normalkraft F_N der Gewichtskraft entgegen. Der Quader bleibt im Ruhezustand, solange die Zugkraft F_Z die horizontale Reibungskraft (oder Haftreibungskraft) $F_{R,h}$ nicht übersteigt. Die Haftreibungskraft wirkt der Zugkraft F_Z direkt entgegen und kompensiert sie.

Erhöht man die Zugkraft F_Z , so wirkt die Haftreibungskraft $F_{R,h}$ der Zugkraft solange entgegen bis die maximale Haftreibungskraft $F_{R,h,max}$ überwunden wird. Dann gerät der Quader in Bewegung. Die Überwindung der maximalen Haftreibungskraft $F_{R,h,max}$ wird auch als Losbrechmoment bezeichnet.

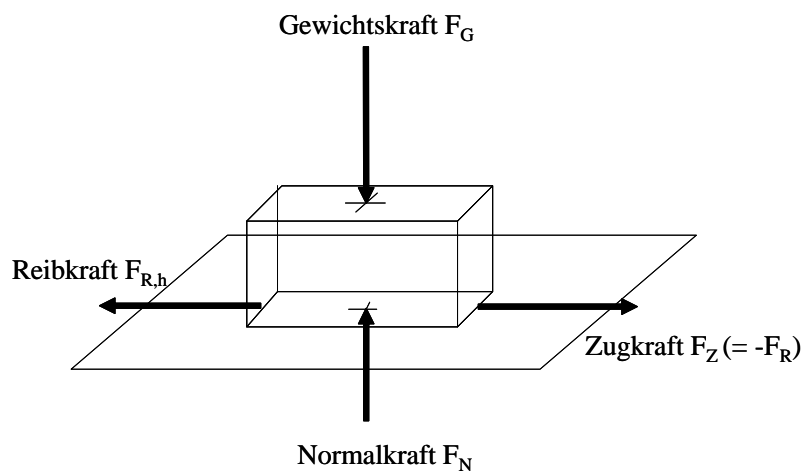


Abbildung 4-1 Auf einen Quader wirkende Kräfte

Betrachtet man die sich berührenden Oberflächen genauer, so erkennt man, dass die makroskopisch glatt erscheinenden Ebenen auf mikroskopischer Ebene rau und uneben sind; selbst polierte Oberflächen zeigen atomare Unebenheiten. Haben nun zwei Oberflächen Kontakt, so berühren sich nur die weit vorstehenden Oberflächenunebenheiten. Genau genommen berühren sich nur die Spitzen der vorstehenden Oberflächenunebenheiten, an denen das Verhältnis Kraft und Flächeneinheit besonders hoch ist, und in der Folge flachen sich die Oberflächenunebenheiten ab. Bei Erhöhung der Normalkraft nimmt auch die Abflachung der Oberflächenunebenheiten zu, was zu einer grösseren Kontaktfläche führt. Unter den meisten Bedingungen ist die mikroskopische Kontaktfläche proportional zur Normalkraft. Da die Reibungskraft proportional zur mikroskopischen Kontaktfläche ist, ist sie folglich auch proportional zur Normalkraft.

Abbildung 4-2 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen Haftreibung und Gleitreibung. Dabei übt der Boden eine Kraft F_R auf einen Körper aus, in Abhängigkeit von einer Kraft F , die horizontal auf den Körper einwirkt. Wie oben beschrieben, ist dabei die Reibungskraft $|F_R|$ so lange mit der Einwirkenden Kraft $|F|$ im Gleichgewicht, bis diese gleich $\mu_{R,h} \times |F_N|$ ist. Dann beginnt sich der Körper zu bewegen und die Reibungskraft ist konstant gleich $\mu_{R,g} \times |F_N|$. Die Reibungskraft liegt dabei stets tiefer als die maximale Haltekraft. Man braucht also für die Überwindung der Haftreibung mehr Kraft als für die danach folgende Gleitreibung.

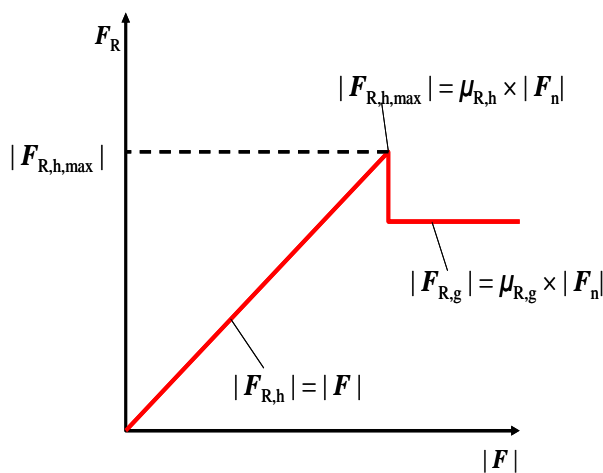


Abbildung 4-2 Übergang von Haftreibung zu Gleitreibung

Diese physikalische Erkenntnis kann man auf folgendes Beispiel übertragen. Man stelle sich ein Auto vor, das an einem Hang geparkt wird. Man verlässt sich darauf, dass das Auto sicher

steht und weder davon rollt noch rutscht. Kann man jedoch davon ausgehen, dass das Auto nicht ins Rutschen gerät? Es stellt sich zwangsläufig die Frage nach den relevanten Faktoren, die etwas ins Rutschen geraten lassen. Nun, das Objekt Auto hat eine gewisse Masse m und eine Auflagefläche A , die auf die Strasse – mit einem bestimmten Winkel α (schiefe Ebene) – eine Kraft F_G (Anpresskraft) ausübt. Dabei wird eine gleichgrosse Kraft F_N (Normalkraft) von der Strasse auf das Auto ausgeübt. Zusätzlich herrscht zwischen der Auflagefläche des Objektes und der Strasse eine Haftreibungskraft F_R , die dazu beiträgt, dass das Auto nicht rutscht. Die Haftreibungskraft F_R kann mit einem Koeffizienten beschrieben werden, der als Mass für die "Rutschigkeit" angesehen werden kann. Man spricht vom Haftreibungskoeffizienten μ_R .

Um die Haftreibung zu überwinden, wird eine bestimmte Kraft $F_{R,max}$ benötigt, die nach Überwindung der Haftreibung abnimmt und die Haftreibung in die Gleitreibung übergehen lässt. Der Moment der Überwindung der Haftreibung ist das Losbrechmoment. Für die Gleitreibung liegt der Koeffizient $\mu_{R,g}$ tiefer als für die Haftreibung. Ebenso nimmt die dazu aufzubringende Kraft nach Überwindung der Haftreibung ab.

Tabelle 4-1 gibt einige Beispiele für den Haftreibungskoeffizienten $\mu_{R,h}$ und den Gleitreibungskoeffizienten $\mu_{R,g}$. Diese Koeffizienten können aus dem Verhältnis zwischen Anpresskraft des Objekts und der nötigen Zugkraft berechnet werden. Die nötige Zugkraft wird dabei experimentell gemessen.

Tabelle 4-1. Ungefähre Werte für den Haft- und Gleitreibungskoeffizienten

Material	$\mu_{R,h}$	$\mu_{R,g}$
Stahl auf Stahl	0.7	0.6
Messing auf Stahl	0.5	0.4
Kupfer auf Gusseisen	1.1	0.3
Glas auf Glas	0.9	0.4
Teflon auf Teflon	0.04	0.04
Teflon auf Stahl	0.04	0.04
Gummi auf trockenem Beton	1.0	0.8
Gummi auf nassem Beton	0.30	0.25
Gewachste Ski auf Schnee (0° C)	0.10	0.05

4.3.2 Bedeutung der Reibung im Alltag

Man stelle sich die Welt als ein riesiges Laboratorium vor, dessen physikalische Eigenschaften gezielt manipuliert werden könnten und man würde jegliche Haftreibung kontinuierlich verringern. Dies wäre z.B. bei einem zunächst rutschfesten Weg der Fall, der langsam in eine Eisschicht übergeht (als Versinnbildlichung von "Rutschigkeit"). Ginge nun ein Fussgänger auf diesem Weg, so würde er mit zunehmendem Eis die Haftung verlieren und als Folge ins Rutschen geraten. Vernachlässigte man nun die Gleitreibung, so würde der ins Rutschen geratene Fussgänger unkontrolliert durch die Gegend gleiten, unfähig, die Richtung zu ändern oder abzubremsen (Newton, 1687).

Dieses fiktive Beispiel verdeutlicht, wie notwendig die Reibung ist. Ohne Reibung könnten wir weder gehen, sitzen noch liegen, weder Fahrrad noch Auto fahren wären möglich und Steigungen könnten nicht überwunden werden. Ebenso könnte ein Kleinkind nicht krabbeln oder jemals laufen lernen. Verfolgt man diesen Gedanken, so müsste letztlich die gesamte Existenz von Menschen, Tieren und Pflanzen in Frage gestellt werden.

Im alltäglichen Sprachgebrauch wird in der Regel gut verstanden, was mit Reibung gemeint ist; denn etwas rutsch oder ist "rutschig", bzw. lässt sich nicht oder nur schwer bewegen oder verschieben. Wichtig ist dabei, dass Reibung immer zwischen zwei sich berührenden Oberflächen entsteht. Der Haftreibungskoeffizient μ (auch COF genannt; Coefficient of Friction) gilt als Mass für die "Rutschigkeit", wobei gilt, dass je grösser der COF ist, desto mehr Haftreibung herrscht zwischen den Kontaktflächen.

Den Haftreibungskoeffizient μ kann man experimentell messen, indem man auf einer horizontalen Fläche Kraft auf ein Objekt ausübt und die Kraft misst, bei der das Objekt ins Rutschen gerät (Losbrechmoment). Diese maximale Haltekraft $F_{R,h,max}$ steht in Beziehung mit dem Haftreibungskoeffizienten μ und der Normalkraft F_N .

Es gilt $|F_{R,h,max}| = \mu_{R,h} \times |F_N|$

Löst man nach $\mu_{R,h}$ auf, erhält man $\mu_{R,h} = |F_N| / |F_{R,h,max}|$

4.3.3 Problem der subjektiven Empfindung von Rauheit

Spricht man von Rauheit, ist meist nicht klar, was genau unter rau gemeint ist. Deshalb ist bei der Frage nach Wissen zur Reibung zunächst zu klären, wie der Begriff "Rauheit" definiert ist. Befühlt man mit den Fingern feines Sandpapier und eine Seite in Brailleschrift, sind beide auf verschiedene Arten rau oder grob. Rauheit scheint ein komplexer Begriff zu sein, wobei mehr als ein physiologischer Mechanismus zur Codierung der taktilen Wahrnehmung der Rauheit mitspielt (Hollins & Bensmaïa, 2007). Die Wahrnehmung von Oberflächenbeschaffenheiten hat besonders in der Sicherheitsforschung einen hohen Stellenwert (Cohen & Cohen, 1994a; Cohen & Cohen, 1994b). So mussten Versuchspersonen in einer Studie verschiedene Bodenbeläge – sowohl für trockene wie auch für nasse Oberflächen – zuerst aufgrund der visuellen Information auf deren Rutschfähigkeit einschätzen, und danach ihre Entscheidung beim anschließenden Darüberlaufen überprüfen (Cohen & Cohen, 1994b). Es zeigte sich, dass die Versuchspersonen die Oberflächen hinsichtlich der Rutschfähigkeit besser einschätzten, wenn diese nass waren. In diesem Fall schätzten die Versuchspersonen die Oberflächen generell als rutschig ein. Trockene Bodenbeläge hingegen schätzten die Versuchspersonen hinsichtlich Rutschfähigkeit unterschiedlich ein, wobei ihre Einschätzungen meist nicht mit dem entsprechenden Haftreibungskoeffizienten übereinstimmten (Cohen & Cohen, 1994b). Mit der Erkenntnis, dass Bodenoberflächen unterschiedlich wahrgenommen werden, können entsprechende Massnahmen bei der Herstellung von Bodenbelägen getroffen werden, damit einerseits die Wahrnehmung der Rutschfähigkeit des Belags entsprechend dem Haftreibungskoeffizienten möglichst korrekt eingeschätzt wird und als Folge das Unfallrisiko gemindert werden kann.

4.3.4 Objektiver physikalischer Zusammenhang von Reibung und der schiefen Ebene

In den hier durchgeführten Untersuchungen wurde mit unterschiedlichen Gewichten, Flächen, Winkeln und Rauheiten gearbeitet. Die damit verknüpften physikalischen Zusammenhänge (vgl. Abbildung 4-3) und mathematischen Formeln sollen daher kurz erläutert werden. In den untersuchten Situationen gilt, dass ein Quader mit rauer Oberfläche einen grösseren Haftreibungs-koeffizienten μ hat als ein Quader mit feiner Oberfläche. In den folgenden Beispielen kann die Körnung¹ der Oberflächen mit der Rauheit und stellvertretend für den Haftreibungskoeffizienten μ gesetzt werden.

¹ Coated Abrasive Manufacturing Institute CAMI

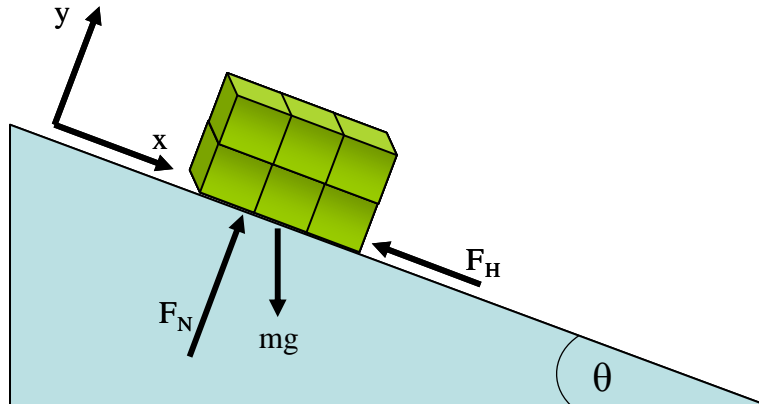


Abbildung 4-3 Kräfteverteilung auf der schiefen Ebene

Zunächst herrscht die Normalkraft $F_N = 0$, solange der Quader gerade nicht rutscht, was auch mit der Masse m und der Erdanziehungskraft g über den Cosinus des kritischen Winkels θ zusammenhängt:

$$\sum F_y = 0$$

wobei F_y die Kraft ist, die F_N entgegenwirkt.

$$F_N - m \times g \times \cos \theta = 0$$

wobei m = Masse
 g = Erdanziehungskraft
 a = Beschleunigung

$$|F_N| = m \times g \times \cos \theta$$

$$F_{R,h,max} = \mu_{R,h} \times |F_N|$$

$$F_{R,h,max} = \mu_{R,h} \times m \times g \times \cos \theta$$

Das gleiche muss nun für die abwärts gerichtete Kraft F_x formuliert werden und man erhält:

$$F_x = m \times a = 0$$

Für F_x gilt analog:

$$F_{R,h,max} + m \times g \times \sin \theta = 0$$

und somit:

$$F_{R,h,max} = -m \times g \times \sin \theta$$

$$F_{R,h,max} = \mu_{R,h} \times m \times g \times \cos \theta$$

$$-m \times g \times \sin \theta = \mu_{R,h} \times m \times g \times \cos \theta$$

$$\mu_{R,h} = (-m \times g \times \sin \theta) / (m \times g \times \cos \theta)$$

$$\mu_{R,h} = \sin \theta / \cos \theta$$

$$\mu_{R,h} = \tan \theta$$

Für die Berechnung des kritischen Winkels θ muss der Haftreibungskoeffizient μ bekannt sein. Dieser lässt sich experimentell durch Messen der Kraft $F_{R,h,max}$, die nötig ist, um ein Objekt in Bewegung zu versetzen, berechnen. Die Zugkraft $F_{R,h,max}$ steht proportional zur Masse m des Objekts.

Misst man experimentell den kritischen Winkel in Abhängigkeit des Haftreibungskoeffizienten, so unterscheidet sich der kritische Winkel bei unterschiedlichen Gewichten nicht, vorausgesetzt die Oberfläche und Auflagefläche bleiben gleich. Dies widerspricht dem subjektiven Empfinden des Menschen. Abbildung 4-4 veranschaulicht den kritischen Winkel in Abhängigkeit des Haftreibungskoeffizienten.

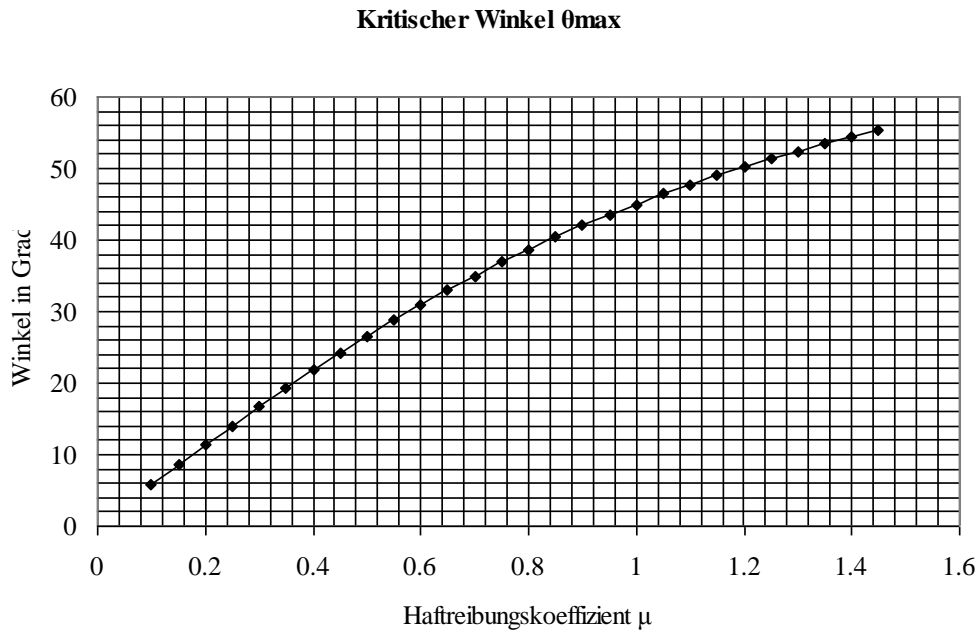


Abbildung 4-4 Kritischer Winkel in Abhängigkeit des Haftreibungskoeffizienten μ

4.3.5 Intuitive Physik in Handeln und Urteilen

In einer Studie von Krist, Fieberg und Wilkening (1993), die sich der Entwicklung des intuitiven Wissens über die Gesetze der Mechanik in verschiedenen Kontexten widmet, wurde das intuitive Wissen über Flugbewegung untersucht, wobei angenommen wurde, dass eine Dissoziation zwischen Handlungs- und Urteilswissen bestehe. Um eine mögliche Entwicklung des intuitiven Wissens nachzuweisen, wurden neben Erwachsenen auch Kindergartenkinder und Schüler getestet, davon ausgehend, dass Dissoziationen bei jüngeren Kindern wahrscheinlicher sind. Kinder und Erwachsene sollten in einer Handlungsaufgabe einen Ball aus horizontal unterschiedlichen Höhen abschlagen und ein Ziel treffen. In der Urteilsaufgabe sollten die erforderlichen Abschlagsgeschwindigkeiten für den Ball angegeben werden.

Die Resultate zeigten, dass in der Handlungsaufgabe alle Altersgruppen korrekt die Abschlagsgeschwindigkeit in Bezug auf die Abschlagshöhe und Distanz der Ziele variierten, d.h. die Kindergartenkinder, Schüler und Erwachsene nahmen die Integration von Distanz und Höhe korrekt vor, und die Altersgruppen unterschieden sich in der Handlungsaufgabe nicht signifikant voneinander.

In der Urteilsaufgabe hingegen vernachlässigten die Kindergartenkinder die relevanten Dimensionen, und selbst Viertklässler und Erwachsene zeigten Misskonzepte in der Höhe-Geschwindigkeits-Relation. Selbst wenn ein visuelles Feedback fehlte, änderten sich die Geschwindigkeitsabstufungen in der Handlungsaufgabe nicht wesentlich. Die Kindergartenkinder, die zuerst in der Handlungsbedingung getestet wurden, beachteten nur eine Dimension, meistens die Distanz, und die andere zu integrierende Dimension (Höhe) wurde vernachlässigt. Zudem zeigte sich eine irrtümliche Höhenheuristik (false height heuristic), nach der bei zunehmender Höhe auch die Geschwindigkeit des Abschlags erhöht werden muss. Zusammenfassend ist die Urteilsbedingung stark altersabhängig, wobei jüngere Kinder eher nur auf die Distanz achteten, anstatt korrekterweise Distanz und Höhe zu integrieren. Einige Kinder tendierten zur „false height heuristic“. Dieser Übergang vom Beachten einer Dimension hin zur Integration mehrerer Dimension entspricht den Ausführungen Piagets vom Zentrieren hin zum Dezentrieren (Piaget, 1970).

Weitere Studien zu quantitativem Urteilen von zweidimensionalen Mengen bei Kindern konnten diese Erkenntnisse bestätigen (Wilkening & Anderson, 1982). Eine der Haupterkenntnisse dieser Studie war, dass selbst Kinder auf der präoperationalen Stufe mehrere Dimensionen quantitativ integrieren können, obschon dies häufig nach inkorrekten

Integrationsregeln geschieht (Wilkening, 1981; Wilkening, Levin, & Druyan, 1987). Am Beispiel der Integration von Zeit, Geschwindigkeit und Distanz konnte Wilkening (1981) zeigen, dass schon 5-jährige Kinder ein funktionales Konzept über diese Faktoren besitzen. Hingegen sahen Siegler und Richards (1979) dieses Konzept erst später als gegeben und postulierten, dass das Zeitkonzept ab 16-17 Jahren nach dem Geschwindigkeits- und Distanzkonzept verstanden werde. Neben diesen Studien, die Kinder ab dem Kindergartenalter untersuchten, fanden u.a. Wellman und Gelman (1991), dass auch schon Kleinkinder ein naives Wissen über physikalische Phänomene besitzen.

Andere Studien zu Handlungs- und Urteilsaufgaben konnten ebenfalls Dissoziationen in den Teilbereichen feststellen, wobei Kinder in den Handlungsaufgaben ähnlich gute Resultate zeigen wie die Erwachsenen. In einer Studie von Huber, Krist und Wilkening (2003) sollten die Probanden die Geschwindigkeit eines (virtuellen) fahrenden Autos (Testauto) so einstellen, dass es mit einem Referenzauto gleichzeitig die Ziellinie erreicht. Beide Autos starteten zur gleichen Zeit, und das Referenzauto fuhr dabei mit einer höheren Geschwindigkeit als das Testauto. Beide Autos fuhren in der Anfangsphase mit konstanter Geschwindigkeit, bis das Referenzauto entweder nach halber Zeit in einem Tunnel verschwand (lineare Bedingung), oder das Testauto die halbe Strecke zurückgelegt hatte (nichtlineare Bedingung). Ab dem Verschwinden des Referenzautos im Tunnel, respektive nach zurückgelegter halber Strecke, musste die Geschwindigkeit des Testautos eingestellt werden, wobei in der Urteilsaufgabe die Anfangsgeschwindigkeiten der Autos durch unterschiedlich lange Balken dargestellt wurden (ein längerer Balken stellte dabei eine höhere Geschwindigkeit, resp. ein kürzerer Balken eine tiefere Geschwindigkeit dar). Die Probanden mussten durch Verändern der Länge des Balkens die Geschwindigkeit des Testautos so einstellen, dass es gleichzeitig mit dem Referenzauto die Ziellinie erreichen würde. In der Handlungsaufgabe sollte die Geschwindigkeit des Testautos durch Bedienen eines Reglers eingestellt werden. Die Resultate zeigen, dass sowohl Kinder wie auch Erwachsene in der linearen Bedingung die Geschwindigkeit des Testautos nach einer normativen Funktion einstellten. Jedoch stellten nur die Erwachsenen in der Handlungsaufgabe der nichtlinearen Bedingung die Geschwindigkeit des Testautos normativ korrekt ein. In einer vereinfachten Version desselben Experiments wurde der Tunnel verkürzt, wodurch das Referenzauto für die Probanden länger sichtbar blieb. Durch diese Vereinfachung urteilten die Erwachsenen auch in der nichtlinearen Bedingung normativ korrekt, und die Kinder konnten die Geschwindigkeit des Testautos in der Handlungsaufgabe der nichtlinearen Bedingung ebenfalls normativ korrekt einstellen.

In der Studie von Frick, Daum, Wilson und Wilkening (2009) konnten ebenfalls Dissoziationen zwischen Urteils- und Handlungsaufgaben festgestellt werden. In dieser Studie sollten Kinder und Erwachsene leere Wassergläser soweit drehen, bis das imaginäre Wasser den Rand des Glases erreichen würde. Es konnte gezeigt werden, dass selbst 5-jährige Kinder ähnlich gute Resultate erzielten wie die Erwachsenen, sofern sie die Drehung des Glases beobachten konnten. Wurden die Gläser jedoch gekippt, ohne dass das Glas gesehen werden konnte, dann zeigten alle Gruppen vergleichbare Resultate. Dasselbe zeigte sich auch bei blossen Urteilen über den Drehwinkel, ohne das Glas kippen zu können.

4.3.6 Alternative Konzepte beim physikalischen Urteilen

In der Psychologie sind seit einigen Jahren physikalische Themen, wie Mechanik, Elektrizität, Wärme oder Optik, Gegenstand der Forschung. Erkenntnisse daraus finden mitunter in der Pädagogik Relevanz (McDermott, 1984), wobei gezeigt werden konnte, dass selbst Physikstudenten z.B. mechanische Prinzipien nur schwer verstehen (Champagne, Klopfer & Anderson, 1980). Dennoch interagiert der Mensch intuitiv richtig mit der physikalischen Umwelt. Er "weiss" also, sich in der Umwelt korrekt zu verhalten. In der Forschung ist daher von Interesse, wie wir zu Wissen gelangen und wie wir verschiedene physikalische Dimensionen kognitiv verarbeiten. Das intuitive Wissen über physikalische Gesetzmässigkeiten eignet sich dabei, um die kognitiven Prozesse auf impliziter und expliziter Ebene miteinander vergleichen zu können.

Schon im Altertum wurden Theorien beschrieben, die nach heutigem Wissen zwar als formal inkorrekt angesehen werden müssen, dennoch aber nachvollziehbar sind. So schreibt Galileo Galilei im Jahre 1627 in "De motu locali", dass sich ein Körper deshalb nach oben bewegt, weil die nach oben treibende Kraft grösser ist als das Gewicht des Objekts und die implementierte Kraft laufend abnimmt, bis sie das Gewicht des Körpers nicht mehr länger halten kann, worauf dieser wieder zu Boden falle (Vergara-Caffarelli, 2009). Diese sogenannte Impetustheorie fand besonders in der Ballistik Anklang. Die Theorie hielt sich im Altertum lange Zeit, bis sie von der Newtonschen Mechanik abgelöst wurde. Formal korrekt muss ein Körper von aussen eine Kraft erfahren, um bewegt zu werden. Ebenso wird häufig die Reibungskraft vernachlässigt, die in der realen Welt stets existiert und ebenfalls zur Abnahme der Geschwindigkeit eines Körpers beiträgt.

Eine mit der Impetustheorie erklärbare intuitive Theorie der Mechanik beschreiben u.a. Kaiser, Proffitt und McCloskey (1985). Kinder verschiedenen Alters und Studenten sollten beurteilen, wo ein Ball landen würde, der einmal über eine Tischkante gerollt, ein andermal aus einem fahrenden Zug fallen gelassen wird. Kindergarten- und Vorschulkinder meinten, dass der Ball in beiden Situationen gerade nach unten fallen würde ("Straight down belief"). Mit zunehmendem Alter wurden die Vorhersagen bei der Tischbedingung besser (d.h. sie lagen näher an den korrekten Werten), waren dennoch rund zur Hälfte physikalisch inkorrekt. Alle Studenten schätzten die Fallkurve in der Tischbedingung korrekt ein, während in der Zugbedingung immer noch 35% der Studenten dem "straight down belief" folgten. Zudem zeigten jüngere Kinder z.T. bessere Ergebnisse als die älteren Kinder. Als Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse in der einfachen Mechanik nennen die Autoren das irrtümliche Wissen über natürliche Bewegung, das erst mit der Alltagserfahrung gewonnen wird und über das die jüngeren Kinder noch nicht verfügen. Ausserdem sei durch die mentale Vorstellung die kognitive Kapazität erreicht, weshalb alle relevanten Faktoren nicht korrekt zusammengeführt werden könnten (McCloskey, Washburn, & Felch, 1983).

Andere Misskonzepte im Zusammenhang mit einer kurvenförmigen Bewegung zeigen Kaiser, McCloskey und Proffitt (1986) und Kaiser, Jonides und Alexander (1986). In der Studie wurden Physikstudenten befragt, wie ein Ball weiterrollt, der aus einer spiralförmig gewundenen Schlauchröhre kommt. Viele der befragten Studenten glaubten, der Ball folge weiterhin einer gekrümmten Bahn. Diese irrtümliche Meinung gleicht wiederum der mittelalterlichen Impetustheorie, die im Gegensatz zum ersten Newtonschen Gesetz steht, das einen bewegten Gegenstand ohne von aussen wirkende Kräfte die Richtung und Geschwindigkeit beibehalten lässt (Newton, 1687). Wenn sich die Studenten vorstellen mussten, dass anstelle eines Balls Wasser aus dem Schlauch käme, so waren die Antworten eher richtig. In einer dritten Aufgabe mussten die Studenten den Verlauf einer Gewehrkuugel angeben, die durch eine kreisförmige Röhre (360°) geschossen wurde. Die Studenten gaben drei Überlegungen zur Aufgabenlösung an. (a) Die geringere Rotation bei der Gewehrkuugelaufgabe (360°) hätte einen Einfluss auf das Geschoss, verglichen mit der grösseren Rotation bei der Ballaufgabe (540°), (b) Wasser und feste Gegenstände hätten unterschiedliche Bewegungseigenschaften, wobei Wasser demnach die Drehung aufnehmen würde, der Ball hingegen nicht, (c) die Geschwindigkeit würde ebenfalls eine Rolle spielen, wonach eine schnelle Gewehrkuugel die Rotation weniger gut aufnehmen könnte.

Es wurde vermutet, dass die Wasseraufgabe eher bekannt war als dieselbe Situation mit einem Ball, was von Catrambone, Jones, Jonides und Seifert (1995) auch belegt werden konnte: In einer Befragung wurde angegeben, dass in einer neuen Situation auf Bekanntes zurückgegriffen wird und Analogien verwendet werden. So meinten Versuchspersonen, wenn ein Pendel am Kehrpunkt abgeschnitten wird, dies in einer bogenförmigen Bewegung fallen wird, anstatt gerade nach unten zu fallen (Caramazza, McCloskey, & Green, 1981). Die Versuchspersonen führten an, sich an das Schwingen und Loslassen an einem Seil zu erinnern. Bei diesem Beispiel wird jedoch vergessen oder vernachlässigt, dass man beim Abspringen von einem schwingenden Seil vor dem Kehrpunkt loslässt.

Kaiser et al. (1986) bieten als Erklärung darüber, wie Urteile bei abstrakten Aufgaben gebildet werden könnten, einen Zweistufenansatz. Es werde zuerst das Problem mit einer aus dem Alltag bekannten Situation verglichen; wenn nichts Vergleichbares gefunden wird, werde mit formal physikalischem Wissen zu urteilen versucht, was jedoch häufig fehlerhaft sei. Yates, Bessman, Dunne, Jertson, Sly und Wendelboe (1988) meinen, dass Problemlösen allgemein von der persönlichen Erfahrung abhängt, indem man sich mit der Situation auseinandersetzt. Nach Meinung der Autoren legt man sich eine Theorie zurecht, die auf Erfahrung basiert und bezieht sich dabei nicht auf mathematische Formeln oder physikalische Gesetze. Für die Lehre können diese Erkenntnisse insofern relevant sein, als man in der schulischen Ausbildung die Newtonschen Gesetze nicht nur in Theorie, sondern auch durch praktischen Unterricht erfährt (Clement, 1981). Zudem bieten die Erkenntnisse eine gute Gelegenheit zur Selbstanalyse und die Möglichkeit, zwischen formalem Wissen und intuitivem Urteilen zu unterscheiden (Viennot, 1979).

Neben der Mechanik wurden auch andere Bereiche der Physik auf psychologischer Ebene untersucht. Stead und Osborne (1980) gingen der Frage nach, was Schüler über die Distanzen von Licht wissen. In einer interviewbasierten Untersuchung gaben viele der Befragten an, dass die Distanz, die das Licht zurücklegen kann, von der Grösse der Lichtquelle abhängt und sich je nach Tageszeit unterschiedlich weit von der Lichtquelle entferne. Die meisten 9 Jahre alten Schüler meinten, am Tag entferne sich das Licht nur einige Meter von der Lichtquelle, nachts ein wenig weiter. Zu ähnlichen Resultaten kommen Andersson und Kärrqvist (1982). Sie konnten zeigen, dass die wenigsten der befragten Schüler ein Konzept von "Licht" haben und dies als etwas Physikalisches ansehen, das im Raum auch ohne Quelle weiterexistiert. Licht kann Objekte beleuchten, womit diese für den Betrachter auch aus der Ferne sichtbar werden.

Beim Sehvorgang komme das Licht jedoch nicht zum Betrachter, sondern es bleibe beim beleuchteten Objekt, und der Betrachter agiere aktiv davon losgelöst. Ebenso fanden Langley, Ronen und Eylon (1997), dass keine der untersuchten 15-jährigen Schüler Licht als von einer Quelle herkommend in eine Skizze zeichnen. Sie zeichnen etwas Existierendes um die Lichtquelle, aber ohne direkte Verbindung zu ihr. Etwa 50% der Schüler stimmten in dem Punkt überein, dass man ohne Licht nicht sehen könne. Jung (1987) fand, dass es für die Schüler schwierig war, Phänomene mit Licht und Sicht zu interpretieren. Es schien, als ob eine Entkopplung vorherrschen würde, in dem Sinne, dass man auf ein Objekt hinsieht (person-as-an-actor), bzw. dass Licht als vom Objekt ausgehend empfangen würde (source-as-an-actor).

Für das Entstehen von Misskonzepten in Bezug auf Licht sehen Autoren die alltäglichen Erfahrungen im Umgang mit Licht (Yalcin, Altun, Turgut & Aggöl, 2009) als relevant an. Osborn, Black, Smith und Meadows (1990) halten die Misskonzepte für kontextabhängig, denn beim Betrachten einer Kerzenflamme strahlt die Kerze etwas aus, das vom Auge empfangen wird. Hingegen scheint das Betrachten einer bedruckten Seite ein aktiver Prozess zu sein, bei dem man aktiv hinsieht. Zu demselben Schluss kommen Fetherstonhaugh und Treagust (1992), wonach mehr als 70% der befragten Schüler erklärten, dass das Sehen eines Baumes bei Tageslicht ein aktiver Prozess sei. Der aktive Prozess dahinter erscheint wiederum plausibel, wenn man sich vergegenwärtigt, dass sich bei den erwähnten Untersuchungen die Situationen vorgestellt werden mussten, um damit mental operieren zu können. Die Umgebung und deren physikalischen Gegebenheiten werden ständig in ein Urteil mit einbezogen und Rückschlüsse und Folgerungen zu laufenden Aktionen gezogen. Was vordergründig als einfaches physikalisches Ereignis erscheint, ist tatsächlich ein hochkomplexes Geschehen mit vielfältigen Berechnungen, die für uns jedoch automatisch ablaufen, wie z.B. beim Halten eines rohen Eis, das einen anderen Druck verlangt als das Halten eines Hammers. Ebenso ist von Bedeutung, die Distanz eines herannahenden Autos korrekt einzuschätzen, wenn davon ausgegangen wird, dass sich dessen Richtung nicht plötzlich ändert. Diese Fähigkeiten laufen automatisch und intuitiv ab und begleiten uns ständig (Schwartz & Black, 1999).

In vielen Situationen stellt man sich hingegen konkret eine Handlung vor, um auf ein Ergebnis folgern zu können. In der Studie von Schwartz und Black (1999) mussten die Versuchspersonen entscheiden, welches von zwei gleich hohen, aber unterschiedlich breiten Gläsern, gleich hoch mit Wasser gefüllt, beim Kippen zuerst ausleeren würde. Beim ersten Experiment mussten sich die Versuchspersonen das Kippen vorstellen, beim zweiten

Experiment konnten sie mit geschlossenen Augen die leeren Gläsern halten und selbst kippen. Es zeigte sich, dass die Probanden im zweiten Versuch korrekterweise das schmale Glas weiter kippten als das breite. In einer abstrakten Aufgabe zur Pendeloszillation fanden Frick, Huber, Reips und Krist (2005), sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen, Misskonzepte bezüglich der Relevanz des Pendelgewichts. In intuitiv zu lösenden Aufgaben zeigten beide Gruppen ein nahezu perfektes Wissen, dabei hatten Kinder ähnlich gute Resultate wie die Erwachsenen, trotz Fehlens jeglicher physikalischer Ausbildung. Turvey, Solomon und Burton (1989) konnten beispielsweise zeigen, dass trotz fehlendem Feedback über die Richtigkeit einer Einschätzung relativ genaue Urteile über einen Sachverhalt abgegeben werden konnte. In ihrer Studie musste durch blosses Drehen eines Stabes dessen Länge eingeschätzt werden, und sie fanden, dass aufgrund des Drehmoments genügend perzeptive Informationen über die Länge des Stabes erhalten wird, um die Länge des Stabes korrekt einzuschätzen.

In der Kognitiven Psychologie stellt sich also immer wieder die Frage nach den Systemen und Konzepten des Denkens, Lernens und Schlussfolgerns. Dazu werden oft Computermodelle zur Versinnbildlichung der kognitiven Prozesse herangezogen. Bei der Frage nach dem deduktiven Schlussfolgern können drei mögliche Prozesse unterschieden werden (Rumelhart, 1989). Zum einen kann durch Vergleichen mit Ähnlichem geschlussfolgert werden, d.h. ein Problem wird mit einer möglichst ähnlichen, bekannten Situation verglichen, in der bereits eine Lösung gefunden wurde (Generalisieren und analoges Urteilen). Zum anderen kann durch die mentale Simulation einer Aktion deren Konsequenz vorgestellt werden. Zum dritten kann durch formales, explizites Denken eine Problemstellung gelöst werden, z.B. unter Anwendung mathematischer Formeln.

5 Forschungsfragen und methodischer Zugang

Die vorliegende Arbeit geht der Frage nach, über welches Wissen Kinder und Erwachsene im Kontext der Reibung, genauer der Haftreibung im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel, verfügen. Dazu wurden die Faktoren Gewicht, Auflagefläche, Rauheit und Winkel der schiefen Ebene systematisch untersucht. Im alltäglichen Verständnis sind besonders die Faktoren Gewicht und Auflagefläche eines Objekts unmittelbar wahrnehmbar und es wird deshalb vermutet, dass sowohl Kinder wie auch Erwachsene neben der Rauheit diese Faktoren besonders beachten.

5.1 Allgemeine Forschungsfragen

Einen Einstieg in die systematische Untersuchung des Themas bietet die alltägliche Erfahrung, dass sich etwas Schweres weniger gut bewegen lässt, beziehungsweise (ver-)rutschen lässt als etwas Leichtes. Auch ist es eine alltägliche Erfahrung, dass etwas Grosses weniger gut rutscht als etwas Kleines, Handliches. Vom dritten Faktor, der Rauheit, wird angenommen, dass dieser als ein gleichwertiger Faktor neben Gewicht und Fläche besteht, da die Alltagserfahrung zeigt, dass etwas Raues weniger gut rutscht, als etwas Feines. Der vierte Faktor, Winkel, scheint dabei eine offensichtliche Rolle zu spielen, da die Erfahrung lehrt, dass an einer sehr steilen Hangneigung alles ins Rutschen kommt. Im Extremfall, bei einem senkrechten Winkel, würde das Rutschen sogar in ein Fallen übergehen.

Zusammengefasst kann aufgrund alltäglicher Phänomene festgehalten werden:

1. Etwas Grosses kann nicht gut verschoben werden, weil es mehr Auflagefläche (und somit mehr Reibung) hat.
2. Etwas Schweres rutscht nicht, weil die Anpresskraft gross ist.
3. Etwas Raues rutscht nicht gut, weil es mehr Reibung erfährt.
4. Wenn die Hangneigung steil genug ist, dann rutscht alles gut.

Es soll zudem der Frage nachgegangen werden, ob das intuitive Wissen der Versuchspersonen innerhalb des physikalischen Themas der "Reibung", bzw. des "kritischen Winkels", aufgrund von Misskonzepten und falschen Analogien gebildet wird und, wenn ja, wie sich das in der Entwicklung vom Kindesalter bis zum Erwachsenenalter verändert.

Konkret werden folgende Fragen untersucht:

1. Welches implizite Wissen haben Kinder und Erwachsene über das physikalische Thema "Reibung"?
2. Berücksichtigen Kinder und Erwachsene die formal korrekten Faktoren beim Thema "kritischer Winkel" und Rutschen?
3. Zeigen sich Altersunterschiede im impliziten und expliziten Wissen beim Thema "Reibung"?
4. Wie wird die Rauheit von den Versuchspersonen wahrgenommen?
5. Was kann über allfällige Misskonzepte und Analogien bei den Probanden gesagt werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden Aufgaben gewählt, die in der psychologischen Forschung bisher nicht angewendet wurden, und es wurde eine Versuchsanordnung konstruiert, die sich nicht nur für Laboruntersuchungen eignete, sondern sich ohne Schwierigkeiten auch an Schulen verwenden liess. Damit herrschten an verschiedenen Orten dieselben methodischen Bedingungen, was eine hohe interne Validität gewährleistete. Durch die augenscheinliche Alltagsnähe der Experimente schienen die Aufgaben bekannt und vertraut. Dennoch darf man sich nicht beirren lassen, da alle Aufgaben im Alltag so nicht anzutreffen sind. Ausserhalb der Experimentalsituation sind verschiedenste Faktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit, Oberflächenbeschaffenheit, externe Kräfte, usw. konfundiert, die in der vorliegenden Situation eliminiert, bzw. konstant gehalten wurden. Im Alltag hingegen können diese wenigen Faktoren kaum konstant gehalten werden, weshalb für die Untersuchung der Reibung ein reines Laborexperiment angezeigt ist. Geht man beispielsweise zu Fuss auf der Strasse, so ändert sich die Oberflächenbeschaffenheit zwischen Schuhsohle und Weg ständig. Eine Veränderung des Weges durch Feuchtigkeit, Laub, Veränderung des Drucks beim Auftreten etc. ändert sofort die Bedingungen hinsichtlich der Reibungseigenschaften.

Damit eine möglichst hohe Genauigkeit der Werte erzielt wurde, wurde eine relativ grosse Versuchsanordnung eingesetzt (s. Kapitel 5.3). Die Vorteile sind in erster Linie, dass damit feinmotorische Fertigkeiten kaum eine Rolle spielen. Alle Versuchspersonen konnten das ganze Material auf einfache Art und Weise bedienen. Für die Datengewinnung war die Grösse der Versuchsanordnung dahingehend von Vorteil, dass kleinere Schwankungen beim Einstellen der Winkel die (ohnehin nicht im Vordergrund stehende) Genauigkeit nicht beeinflussten. Die intraindividuelle Variabilität der Daten konnte so sehr klein gehalten werden. Weiter war die

Versuchsapparatur einfach zu bedienen. Es bedurfte nur einer kurzen Phase des Angewöhnens, insbesondere bei jüngeren Kindern.

Die nötige Zugkraft für das Hochziehen der schiefen Ebene war bei leichten Quadern im Vergleich zu den schweren Quadern nahezu identisch. Damit konnten Unterschiede in der abhängigen Variable bei den Versuchen, bei denen das Gewicht variierte, auf die Wahrnehmung des Gewichts der einzelnen Quader zurückgeführt werden und nicht auf die Perzeption des gefühlten Gesamtgewichts, also mehr Zugkraft. Die nötige Zugkraft für die leichten Quader beträgt 950g und für die schweren Quader 1000g. Der Unterschied von 50g konnte dabei vernachlässigt werden (Fechner, 1889).

5.2 Methodischer Zugang

Im Rahmen eines zweifaktoriellen Versuchsplans wurden jeweils zwei verschiedene intervallskalierte Merkmale des Versuchsmaterials in je drei Stufen variiert. Dabei bekam jede Versuchsperson jede Stimuluskombination zweimal in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Das Urteil wurde nach der Methode des Funktionalen Messens abgegeben (Anderson, 1982). Dieses methodische Vorgehen ermöglicht statistische Auswertungen nicht nur auf Gruppenebene, sondern auch auf individueller Ebene für jede Versuchsperson. Aufgrund der quantitativ abgestuften Urteile der Probanden und der zweifachen Beurteilung eines Stimulus ist es möglich, eine Varianzanalyse zu rechnen (Anderson, 1982; Anderson & Wilkening, 1991; Wilkening & Anderson, 1982). In den Experimenten 1a, 2a, 2b, 2c erfolgte das Urteil durch eine psychomotorische Antwort. Durch Ziehen an einem Seil musste eine schiefe Ebene in einen bestimmten Winkel gebracht werden. In Experiment 1b wurde ein alternatives Antwortformat gewählt, um einen inhaltlichen Vergleich der Urteile zu erhalten, und in den Experimenten 3a, 3b und 3c musste aufgrund der taktilen Information eine bestimmte Rauheit angegeben werden. Erst durch das Verwenden verschiedener Verfahren in Bezug auf die Reibung können Aussagen gemacht werden, ob Kinder in einem bestimmten Alter Konzepte über bestimmte physikalische Themen besitzen (Dotzler & Butzin, 1988).

5.3 Versuchsaufbau

Zur Anwendung kam eine Rampenkonstruktion (50 x 30 cm) zwischen zwei Pfeilern (Höhe 70 cm) mit verstellbarem und ablesbarem Neigungswinkel (s. Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2), einstellbar über eine Seilverbindung. Drei in der Grösse identische Quader (Holzklötze 12 x 6 x

3 cm) unterschieden sich im Gewicht (150 g, 300 g, 450 g) und dienten als "Rutschobjekte". Die Oberflächen der Quader wurden in der Rauheit variiert (Schleifpapierkörnung nach CAMI grob = 60, mittelgrob = 240 und Folie = fein). Um die Grösse der Auflageflächen zu variieren, konnten die Quader auf jede der drei verschieden grossen Seiten gelegt werden (Abbildung 5-3). Ein effektives Rutschen wurde durch eine Rutschsperre verhindert.

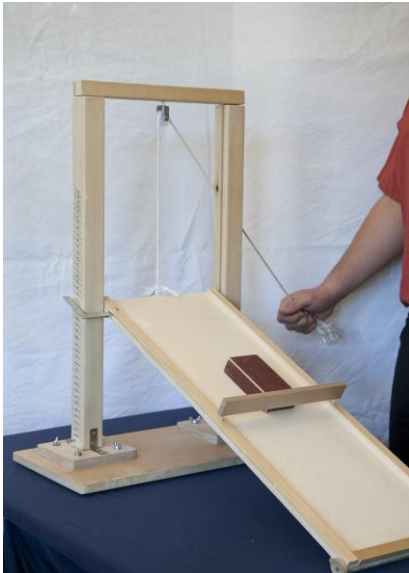


Abbildung 5-1 Versuchsausrüstung

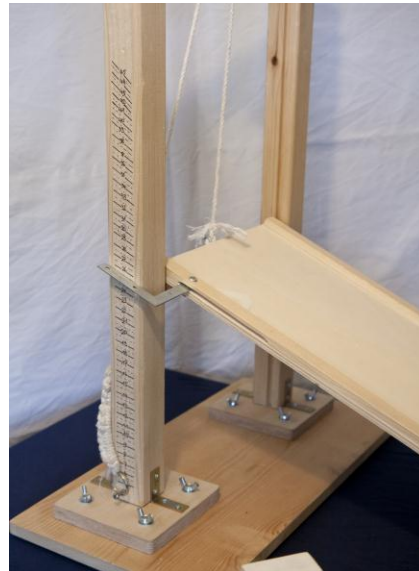


Abbildung 5-2 Winkel in Grad



Abbildung 5-3 mittlere Auflagefläche

6 Experiment 1

6.1 Forschungsfrage Experiment 1a: Kritischer Winkel (Rauheit, Fläche)

Im ersten Experiment wurde der Frage nachgegangen, über welches intuitive Wissen Kinder und Erwachsene verfügen und welche Strategien sie anwenden, wenn sie an einer Rampe einen Winkel einstellen sollen, bei dem ein Quader mit unterschiedlicher Rauheit und Fläche gerade ins Rutschen kommt (kritischer Winkel).

6.1.1 Hypothese Experiment 1a

Die Annahme in Experiment 1a ist, dass die Kinder einerseits andere Urteile abgeben als die Erwachsenen, da die Erwachsenen aufgrund ihrer schulischen und persönlichen Erfahrung mehr über Reibung und Winkel wissen als Kinder. Daraus folgernd wird andererseits erwartet, dass die Urteile mit zunehmendem Alter in der Genauigkeit zunehmen. Zudem wird angenommen, dass Kinder bezüglich des kritischen Winkels heterogene Urteile abgeben, die sich bezüglich Variabilität und Nähe zur Norm deutlich von denen der Erwachsenen unterscheiden.

6.1.2 Methode Experiment 1a

Versuchspersonen

Am ersten Experiment nahmen insgesamt 42 Versuchspersonen teil, 20 Kinder (männlich = 9, weiblich = 11, Alter 9-11, Altersdurchschnitt = 9;6, Range = 9;1-11;11) und 22 Erwachsene (männlich = 7, weiblich = 15, Altersdurchschnitt = 24;6, Range = 19;1-32;11). Die Kindergruppe wurde in Primarschulen im Kanton Schaffhausen/CH rekrutiert, die Erwachsenen waren vorwiegend Psychologiestudenten der Universität Zürich. Keine der Versuchspersonen war aus den Gebieten der Mathematik, Physik, Chemie oder Biologie, so dass angenommen wurde, dass die mathematisch-physikalischen Beziehungen nicht aus dem aktuellen Fachstudium geläufig waren.

Alle Versuchspersonen haben freiwillig an den Versuchen teilgenommen; die Kinder hatten ein schriftliches Einverständnis ihrer Erziehungsberechtigten.

Versuchsmaterial

In den Experimenten wurden Holzquader verwendet, die sich als Versuchsobjekte insofern eigneten, als wahrscheinlich jede Versuchsperson schon Erfahrungen mit solchen oder ähnlichen Objekten gemacht hat. Den Versuchspersonen wurden die Quader präsentiert, die sich in der Auflagefläche unterschieden (klein, mittel, gross, im Verhältnis 1:2:4; $A_1 = 18 \text{ cm}^2$; $A_2 = 36 \text{ cm}^2$; $A_3 = 72 \text{ cm}^2$), sowie in 3 Stufen der Rauheit (fein = Folie, mittel (CAMI = 240) und grob (CAMI = 60). Das Gewicht wurde dabei mit 300g konstant gehalten.

Versuchsablauf

Die Quader wurden vom Versuchsleiter einzeln in randomisierter Reihenfolge den Probanden übergeben, die dem Versuchsleiter gegenüber standen. Sie konnten vor jedem Trial den entsprechenden Versuchsquader mit den Händen befühlen, jedoch nicht auf seine Rutscheigenschaften hin auf der schiefen Ebene testen, womit eine Rückmeldung über das Rutschverhalten ausgeschlossen war. Alle Versuchspersonen wurden gleich instruiert und mussten nach dem Befühlen des Quaders diesen an die Rutschsperre legen, die ein effektives Rutschen verhinderte. Danach musste der Winkel eingestellt werden, bei dem der Quader vermeintlich zu rutschen beginnt. Der eingestellte Winkel wurde protokolliert. Um eventuelle Lerneffekte feststellen zu können und um die Konsistenz der Daten zu sichten, wurden jeweils zwei Durchgänge mit quasirandomisierter Reihenfolge der Quader durchgeführt. Danach wurden die Probanden in offenem Setting nach ihrer Strategie/Hypothese befragt, worauf sie bei ihrer Entscheidung geachtet hätten, anschliessend noch mit einem standardisierten Fragebogen explizit nach der Relevanz der einzelnen Faktoren.

6.1.3 Resultate Experiment 1a*Gruppenanalysen*

Abbildung 6-1 zeigt das normative Muster, das resultieren würde, wenn korrekt nur die Rauheit als relevanter Faktor beim kritischen Winkel beachtet würde. Die einzustellenden Winkel bleiben bei veränderter Auflagefläche konstant (horizontale Graphen), wohingegen die Winkel mit zunehmender Rauheit zunehmen (vertikale Verschiebung).

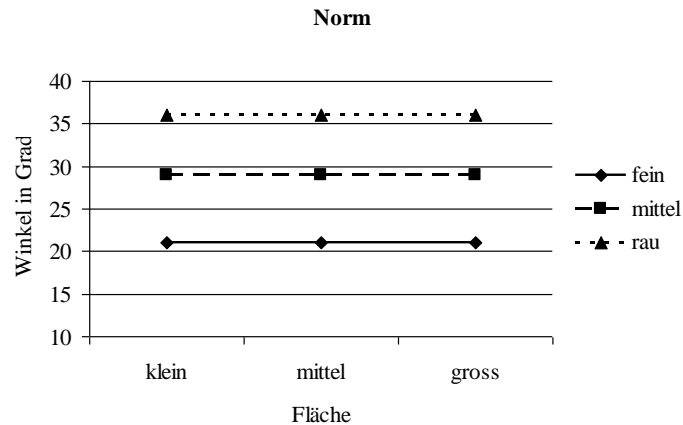


Abbildung 6-1 Ideales Muster der Winkel in Abhängigkeit der Fläche und der Rauheit der Quader

Abbildung 6-2 und Abbildung 6-3 zeigen die Ergebnisse von Experiment 1a der beiden Altersgruppen. Statistische Analysen (Varianzanalysen) ergaben signifikante Effekte der Faktoren *Rauheit* und *Fläche* und ebenfalls signifikante Interaktionen beider Faktoren.

Bei den Erwachsenen findet sich zudem ein Effekt des Durchgangs. Erwachsene haben in der Messwiederholung leicht höhere Winkel eingestellt als die Kinder, im ersten Durchgang im Durchschnitt einen Winkel von 13.59 Grad ($SD = 4.05$) und in der Messwiederholung einen Winkel von 14.47 Grad ($SD = 4.73$). Der Unterschied von 0.88 Grad ist trotz der statistischen Signifikanz als sehr klein zu bezeichnen (s. Abbildung 6-5). Man kann dies dahingehend interpretieren, dass die Erwachsenen mit dem Versuchsmaterial gewissermassen vertraut wurden und sich ein schwacher Lerneffekt abgezeichnet hat. Bei den Kindern ist dieser Effekt nicht zu erkennen (s. Abbildung 6-4).

Die Resultate deuten darauf hin, dass beide Altersgruppen beide variierten Dimensionen berücksichtigt haben und die *Rauheit* und *Fläche* in additiver Weise verknüpften. Diese Interpretation wird durch das parallele und ansteigende Muster unterstützt.

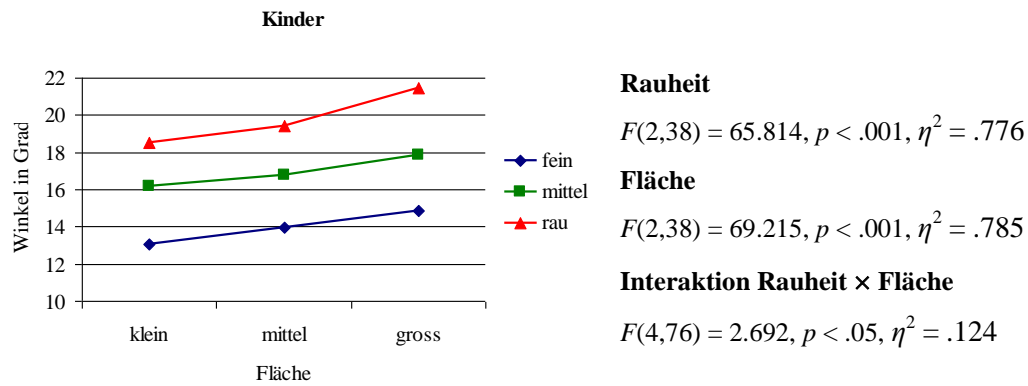


Abbildung 6-2 Gruppenmittelwerte der eingestellten Winkel der Kinder

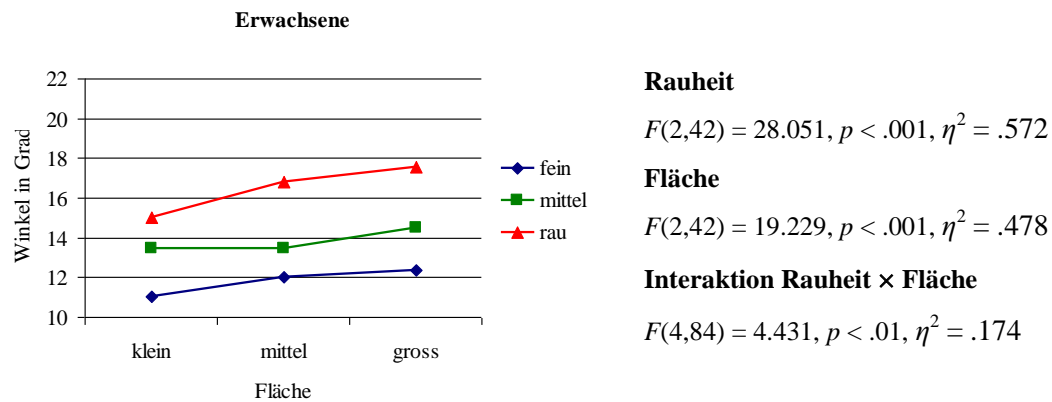


Abbildung 6-3 Gruppenmittelwerte der eingestellten Winkel der Erwachsenen

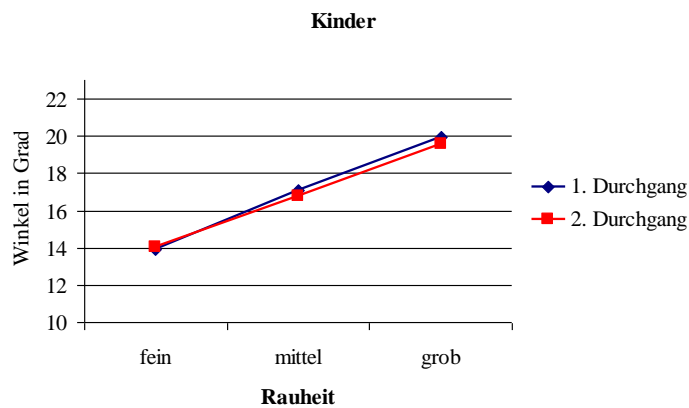


Abbildung 6-4 Mittelwerte im 1. und 2. Durchgang (Messwiederholung), Kinder

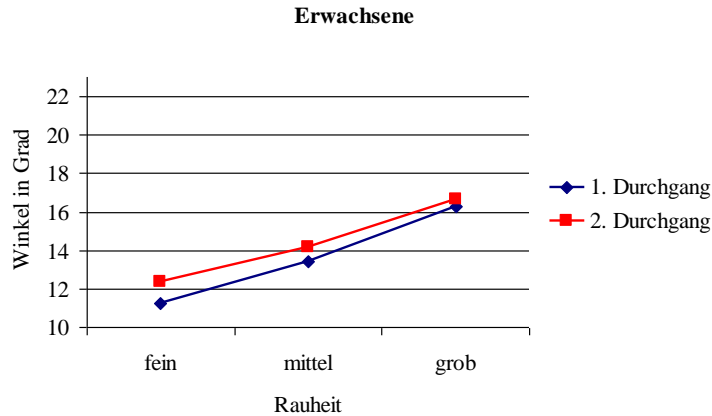


Abbildung 6-5 Mittelwerte im 2. Durchgang (Messwiederholung), Erwachsene

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Rauheit* (3) und *Fläche* (3) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (2) und *Geschlecht* (2). Der Faktor *Geschlecht* interagiert weder mit dem Faktor *Rauheit* $F(2, 76) = .075, p = .927, \eta^2 = .002$, noch mit dem Faktor *Fläche* $F(2, 76) = .868, p = .424, \eta^2 = .022$. Aus diesem Grund wurde der Faktor *Geschlecht* in die weiteren Analysen nicht mit einbezogen.

Unter Ausschluss des Faktors *Geschlecht* wurde erneut eine Gesamt-ANOVA mit den Innersubjekt-Faktoren *Rauheit* (3) und *Fläche* (3) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (2) gerechnet. Es zeigten sich signifikante Haupteffekte der Faktoren *Rauheit* $F(2, 80) = 82.82, p < .001, \eta^2 = .674$ und *Fläche* $F(2, 80) = 65.659, p < .001, \eta^2 = .621$. Jedoch fand sich kein Alterseffekt bezüglich der Interaktion der Faktoren *Rauheit* $F(2, 80) = 1.136, p = .326, \eta^2 = .028$ und *Fläche* $F(2, 80) = 1.944, p = .15, \eta^2 = .046$. Lediglich die Interaktion der Altersgruppe bezüglich Messwiederholung zeigten einen leichten Effekt, $F(1, 40) = 4.897, p < .05, \eta^2 = .104$. Alle weiteren Interaktionen erwiesen sich als nicht signifikant, alle $p > .05, \eta^2 < .06$. Die Daten der Altersgruppen zeigten einen signifikanten Unterschied in der abhängigen Variable *Winkel*, $F(1, 40) = 4.773, p < .05, \eta^2 = .107$. Dabei wählten die Kinder im Durchschnitt einen Winkel von 16.77 Grad gegenüber den Erwachsenen mit 13.92 Grad.

Beide Gruppen beziehen sowohl die Grösse der Fläche wie auch die Rauheit der Quader in ihr Urteil über die Höhe des einzustellenden Winkels mit ein. Darauf weisen die nach rechts ansteigenden Graphen hin. Da physikalisch korrekt die Fläche keinen Einfluss auf den kritischen Winkel hat, müssten die Graphen horizontal verlaufen und nicht mit grösser

werdender Fläche ansteigen (Abbildung 6-1). Die Erwachsenen stellen dabei jedoch im Mittel tiefere Winkel ein als die Kinder. Beide Gruppen liegen deutlich unter den normativen Werten.

Einzelanalysen

Die oben gefundenen Werte beziehen sich auf die über die Gruppen gemittelten Daten. In der Analyse der von einzelnen Personen ausgeführten Strategien findet sich, dass 25% ($n = 5$) der Kinder normativ korrekt auf den Faktor *Rauheit* zentrieren, 60% ($n = 12$) die beiden Faktoren *Rauheit* und *Fläche* additiv verknüpfen und 15% ($n = 3$) eine multiplikative Verknüpfung vornehmen. Bei den Erwachsenen hingegen zentrieren 40,9% ($n = 9$) normativ korrekt auf den Faktor *Rauheit*, 22,7% ($n = 5$) verfolgen eine additive Strategie, 13,6% ($n = 3$) verknüpfen multiplikativ und 22,7% ($n = 5$) urteilen ohne ersichtliche Regel; sie urteilten also nicht mit einer offensichtlichen Strategie ("ohne Strategie") (Abbildung 6-6). Kein Kind urteilte dabei ohne ersichtliche Regel (vgl. Tabelle 11-1 im Anhang).

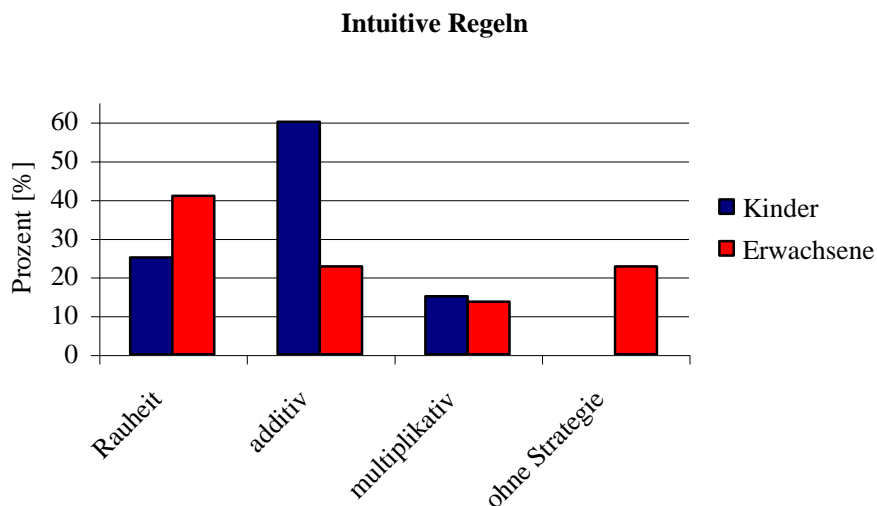


Abbildung 6-6 Verteilung der intuitiven Regeln in Experiment 1a

Fragebogen

Im anschliessend an die Experimente durchgeführten Fragebogen wurde explizit nach der Relevanz der einzelnen Faktoren gefragt, wobei die Faktoren *Rauheit* und *Fläche* um den Faktor *Gewicht* erweitert wurden. Dieser Faktor wird aus der praktischen Überlegung in den Fragebogen mit aufgenommen, da er im Alltag eine direkt saliente Grösse ist. Wenn man z.B. etwas verschieben will, dann bemerkt man zunächst das Gewicht und weniger die Reibung.

Alle 42 Versuchspersonen nannten korrekterweise (und unabhängig von den weiteren gewählten Faktoren) die *Rauheit* als den relevanten Faktor. Dennoch zeigte sich, dass nur gerade 10% ($n = 2$) der Kinder diesen Faktor als alleinigen relevanten Faktor im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel sahen. 50% ($n = 10$) der Kinder gaben an, dass alle Faktoren (*Rauheit*, *Fläche*, *Gewicht*) relevant seien, 35% ($n = 7$) glaubten, dass die *Rauheit* und die *Auflagefläche* relevant seien und 5% ($n = 1$) meinten, dass die *Rauheit* und das *Gewicht* die relevante Rolle beim kritischen Winkel spielen. Bei den Erwachsenen hingegen nannten 77,3% ($n = 17$) alle Faktoren als relevant, 4,5% ($n = 1$) glaubten, dass die *Rauheit* und die *Auflagefläche* eine relevante Rolle spielen, 13,6% ($n = 3$) gaben an, dass die *Rauheit* und das *Gewicht* die relevanten Faktoren seien und nur 4,5% ($n = 1$) nannten korrekterweise nur die *Rauheit* als den relevanten Faktor (Abbildung 6-7). Keine der befragten Personen nannte hingegen die *Fläche* oder das *Gewicht* als alleinigen relevanten Faktor. Tabelle 11-2 im Anhang gibt einen Überblick über die von den Versuchspersonen genannten relevanten Faktoren.

Diese Daten weisen auf eine Dissoziation zwischen den mittels schiefer Ebene gewonnenen Daten (implizite Ebene) und den expliziten Annahmen auf kognitiver Ebene hin.

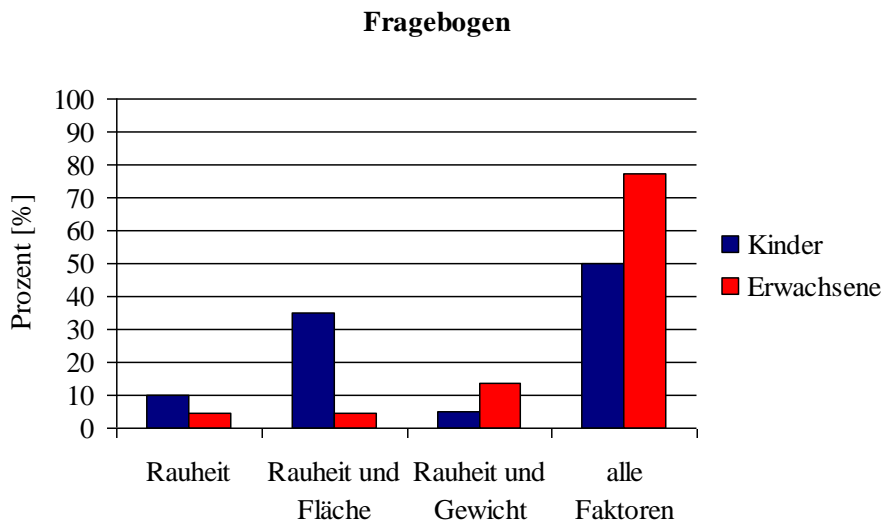


Abbildung 6-7 Im Fragebogen genannte "relevante" Faktoren im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel; Gruppe aus Experiment 1a

6.1.4 Diskussion

Aus den in Experiment 1a gewonnenen Daten lässt sich ableiten, dass sowohl die Kinder wie auch die Erwachsenen im Mittel die Faktoren Rauheit und Flächengrösse in additiver Art und Weise zur Urteilsbildung bezüglich des kritischen Winkels integrieren, indem mit zunehmender Grösse der Auflagefläche und (korrekterweise) mit zunehmender Rauheit der kritische Winkel grösser wird. Kinder haben im Durchschnitt eine der physikalischen Norm besser entsprechende Einschätzung bezüglich Höhe der Winkel, wobei beide Gruppen die normativen Werte deutlich unterschätzen. In den Gruppenanalysen findet sich also für beide Gruppen ein Misskonzept hinsichtlich der Grösse der Auflagefläche der Quader. Die Einzelanalysen machen deutlich, dass die Erwachsenen mehrheitlich korrekt auf den Faktor *Rauheit* zentrieren und die Kinder mehrheitlich eine additive Strategie verfolgen.

Durch die Erhebung des expliziten Wissens konnte festgestellt werden, dass zwar alle befragten Personen die *Rauheit* als wichtigen Faktor erkennen, aber auch die anderen Faktoren (*Fläche* und *Gewicht*) beim Einstellen des kritischen Winkels in ihr Urteil mit einfließen lassen. Von vielen Versuchspersonen wurde angegeben, dass eine grosse Auflagefläche mehr Kontakt zur Oberfläche der schiefen Ebene habe und der Quader dadurch mehr Reibung erfahre; dadurch würde der Quader besser haften. Diese Überlegung erscheint plausibel, ist physikalisch dennoch nur bedingt richtig, da eine in der Grösse zunehmende Auflagefläche zwar richtigerweise mehr Kontaktfläche bedeutet, jedoch bei gleich bleibendem Gewicht die Anpresskraft pro Fläche konstant bleibt.

Entgegen der Annahme, dass die Erwachsenen aufgrund längerer Lebenserfahrung und schulischer Bildung besser im Umgang mit der Reibung sein müssten, zeigte sich, dass die Kinder hinsichtlich der variierten Dimensionen realitätsnäher urteilten.

6.2 Forschungsfrage Experiment 1b: Rutschverhalten (Rauheit, Fläche)

6.2.1 Hypothese Experiment 1b

Wie in Kapitel 4.3.6 erläutert, liessen sich in früheren Studien in der psychologischen Forschung verschiedentlich Misskonzepte aufzeigen. Diese alternativen Konzepte scheinen mental fest verankert zu sein, trotz des Wissens über die physikalischen Gesetze. Wenn nun bei einer einfachen Entscheidungsaufgabe die Fläche als relevanter Faktor genannt wird, würde dies die These stützen, dass ein Flächenmisskonzept vorherrscht, was sich wiederum im Fragebogen zeigen lassen müsste. So müsste sich das intuitive Wissen der Kinder auch bei einem alternativen Antwortformat von dem der Erwachsenen unterscheiden und zwar so, dass die Erwachsenen ein formal exakteres Wissen bezüglich des Rutschverhaltens der Quader besitzen als die Kinder.

6.2.2 Methode Experiment 1b

Um die in Experiment 1a gewonnenen Daten zu überprüfen und allenfalls zu bestätigen, wurde in Experiment 1b eine Veränderung des Antwortformats vorgenommen. Die unabhängigen Variablen von Experiment 1a wurden übernommen ($UV_1 = \text{Rauheit}$, $UV_2 = \text{Fläche}$) und die Faktoren Gewicht ($m = 300\text{g}$) und Winkel ($\alpha = 25^\circ$) konstant gehalten, während die Faktoren *Rauheit* (fein, mittel, grob) und *Fläche* (kleine Fläche, mittlere Fläche, grosse Fläche, im Verhältnis 1:2:4; $A_1 = 18\text{cm}^2$; $A_2 = 36\text{cm}^2$; $A_3 = 72\text{cm}^2$) systematisch variiert wurden. Die Versuchspersonen mussten entscheiden, ob die Quader rutschen oder bleiben würden. Im Anschluss wurde wiederum mittels Fragebogen das explizite Wissen zur Thematik erfragt. Das Antwortformat wurde in "ja" für "der Quader rutscht" und "nein" für "der Quader rutscht nicht" verwendet. Mit dieser Veränderung des Antwortformats konnte das intuitive Wissen im Kontext der Reibung auf eine andere Art erhoben werden.

Versuchspersonen

In Experiment 1b wurden weitere 20 Kinder (männlich = 9, weiblich = 11, Altersdurchschnitt = 11;4, Range = 9;0-13;10) und 20 Erwachsene (männlich = 12, weiblich = 8, Altersdurchschnitt = 24;4, Range = 19;0-37;11) untersucht. Die Kinder wurden in Primarschulen im Kanton Schaffhausen rekrutiert und in den jeweiligen Schulen in einem separaten Raum getestet. Die

Erwachsenen waren hauptsächlich Studenten der Universität Zürich. Bei den Kindern wurde wiederum das schriftliche Einverständnis der Eltern eingeholt.

Versuchsmaterial

Die schiefe Ebene und die Versuchsquader wurden aus Experiment 1a übernommen. Aus den vorhandenen Versuchsquadern wurde das mittlere Gewicht gewählt ($m = 300 \text{ g}$). Die Rauheitsabstufungen waren wie zuvor fein (Folie), mittelrau (CAMI = 240) und grob (CAMI = 60).

Versuchsablauf

Alle Versuchspersonen wurden gleich instruiert. Sie konnten sich überzeugen, dass die Quader alle dasselbe Gewicht haben (mittleres Gewicht = 300g), indem sie die Versuchsquader in die Hände nehmen, jedoch nicht auf ihr Rutschverhalten hin auf der schiefen Ebene testen konnten. Die Quader wurden einzeln vom Versuchsleiter in randomisierter Reihenfolge (wie in Experiment 1a) entweder auf die kleine, mittlere oder grosse Fläche auf die schiefe Ebene gelegt. Durch die Rutschsperre konnten die Quader nicht rutschen, wodurch die Versuchspersonen keine Rückmeldung über das Rutschverhalten der Quader erhielten. Die Versuchspersonen mussten entscheiden, ob die Quader rutschen würden oder nicht, wobei der Winkel mit 25 Grad konstant gehalten wurde. Im Anschluss wurden die Probanden wie in Experiment 1a nach ihren Überlegungen befragt.

6.2.3 Resultate Experiment 1b

Abbildung 6-8 zeigt die normativen Angaben für Experiment 1b. Daraus ist ersichtlich, dass, unabhängig von der Grösse der Fläche, nur derjenige Quader rutschen würde, der die feinste Rauheit aufweist (Kategorie "fein"). Mit den anderen Rauheiten würden die Quader nicht rutschen.

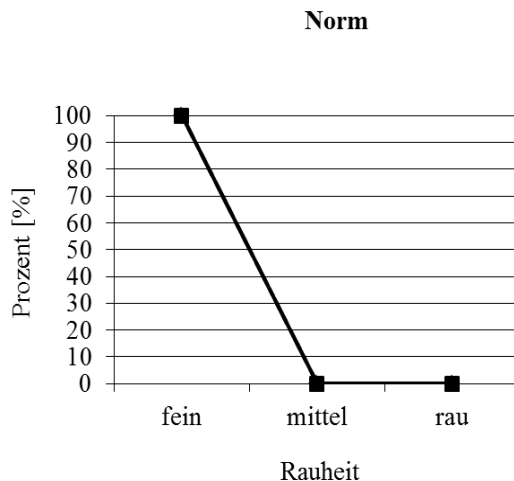


Abbildung 6-8 Darstellung des idealen Musters bezüglich der Frage, ob der Quader rutscht, in Abhängigkeit der Rauheit und Auflagefläche (der Graph entspricht gleichermaßen der kleinen, mittleren und grossen Auflagefläche)

Abbildung 6-9 und Abbildung 6-10 zeigen die von den Kindern resp. Erwachsenen gemittelten Antworthäufigkeiten in Prozent bezüglich der Frage, ob der Quader bei entsprechender Rauheit und Auflagefläche rutschen würde. Bei den Graphiken fällt auf, dass die Antworten bzgl. des Faktors *Rauheit* bei der Kategorie "fein" am nächsten beieinander liegen und sich zur Kategorie "rau" hin aufteilen. Die Probanden glauben also, dass die Grösse der Fläche einen Einfluss auf das Rutschverhalten hat und die Quader mit zunehmender Auflagefläche weniger rutschen würde.

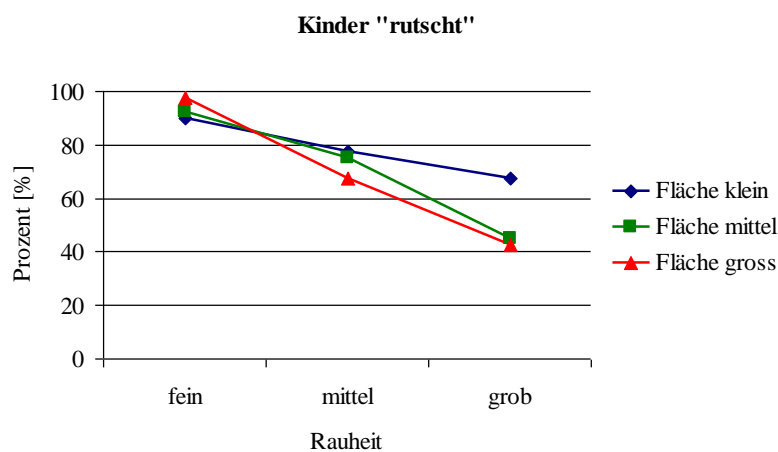


Abbildung 6-9 Graphische Darstellung der Antworten der Kinder bezüglich der Frage, ob der Quader rutscht, in Abhängigkeit der Rauheit und Auflagefläche

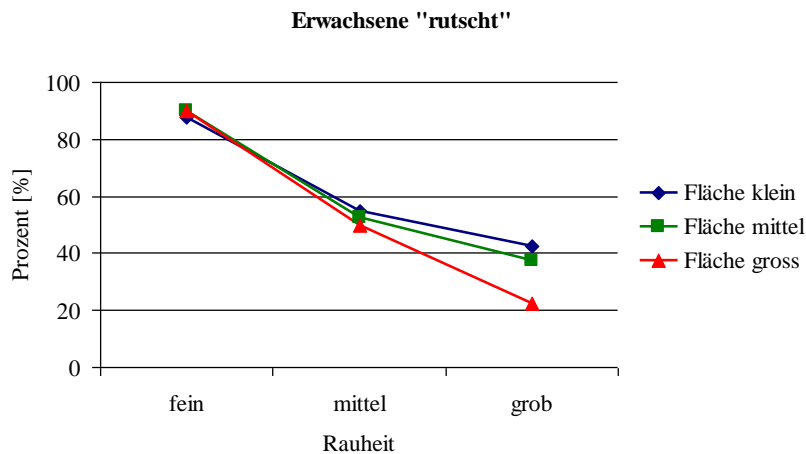


Abbildung 6-10 Graphische Darstellung der Antworten der Erwachsenen bezüglich der Frage, ob der Quader rutscht, in Abhängigkeit der Rauheit und Auflagefläche

Bei genauerer Analyse zeigt sich zudem, dass die Kinder beim entsprechenden Winkel den rauen Quadern die Rutschfähigkeit eher zutrauen als die Erwachsenen. Dies zeigt sich in den häufigeren Ja-Antworten zu der Frage, ob der Quader rutschen würde. In der Graphik sind die prozentualen Ja-Antworten abgetragen. Beide Gruppen interpretieren die feinste Rauheit als am ehesten rutschend. Alle Kinder meinen mit $\geq 90\%$ korrekt, dass die Quader mit der feinsten Rauheit auf jedenfall rutschen würden, und es erstaunt, dass die grösste Fläche im Vergleich zur mittleren (92.5%) und kleinsten Fläche (90%) am ehesten rutschen würde (97.5%). Mit zunehmender Rauheit nehmen bei beiden Gruppen korrekterweise die Ja-Antworten ab, jedoch ist ein Flächeneffekt sichtbar. Bei der mittleren Rauheit meinen 77.5% der Kinder, die kleinste Fläche würde rutschen, 75% sind es noch bei der mittleren Fläche und 67.5% bei der grossen Fläche. Demgegenüber schätzen die Erwachsenen die Rutschfähigkeit allgemein tiefer ein. Bei der mittleren Rauheit und der kleinsten Fläche sagen 55% der Erwachsenen, der Quader würde rutschen, 52.5% dasselbe bei der mittleren Fläche und 50% bei der grossen Fläche. Vergleicht man die Ja-Antworten der Kinder bezüglich der grössten Rauheit, so zeigt sich, dass 67.5% bei der kleinsten Fläche meinen, dass der Quader rutscht, 45% bei der mittleren Fläche und 42.5% bei der grossen Fläche. Die Erwachsenen sind auch hier im Vergleich zu den Kindern zurückhaltender. Bei der kleinsten Fläche (und grössten Rauheit) schätzen 42.5% der Erwachsene, der Quader würde rutschen, 37.5% dasselbe bei der mittleren Fläche und 22.5% bei der grössten Fläche.

Es wird deutlich, dass die Versuchspersonen neben der Rauheit die Fläche mit in ihr Urteil einfließen lassen. Jedoch geben beide Gruppen, dass bei der feinsten Rauheit mit zunehmender Auflagefläche die Rutschfähigkeit zunehme. Bei der mittleren und grössten Rauheit wird angegeben, dass mit zunehmender Auflagefläche die Rutschfähigkeit abnehme.

Fragebogen

Die im Anschluss an Experiment 1b erhobenen Daten mittels Fragebogen unterstreichen teilweise die aus dem Experiment 1b gewonnenen Daten. Abbildung 6-11 zeigt die prozentuale Verteilung der im Fragebogen erhobenen Daten. Kein Kind hat die Rauheit als alleinigen relevanten Faktor genannt, hingegen 20% der Erwachsenen ($n = 4$), was normativ dem physikalischen Gesetz bezüglich kritischem Winkel entsprechen würde. Die *Rauheit* und gleichermassen die Grösse der *Auflagefläche* als relevante Faktoren haben 10% der Kinder ($n = 2$) und 30% der Erwachsenen ($n = 6$) angegeben. Ebenso wurden die *Rauheit* und dazu das *Gewicht* als relevante Faktoren von 10% beider Gruppen (je $n = 2$) genannt, was ebenfalls nicht dem normativen physikalischen Gesetz entspricht. Ein Erwachsener (5%) meinte, dass beim kritischen Winkel nur die *Fläche* relevant sei. Die meisten Probanden beider Gruppen, 80% der Kinder ($n = 16$) und 35% der Erwachsenen ($n = 7$), gaben letztlich an, dass alle drei Faktoren, *Rauheit*, *Fläche* und *Gewicht*, beim kritischen Winkel eine entscheidende Rolle spielten. Einen Überblick über die Werte bietet Tabelle 11-3 im Anhang.

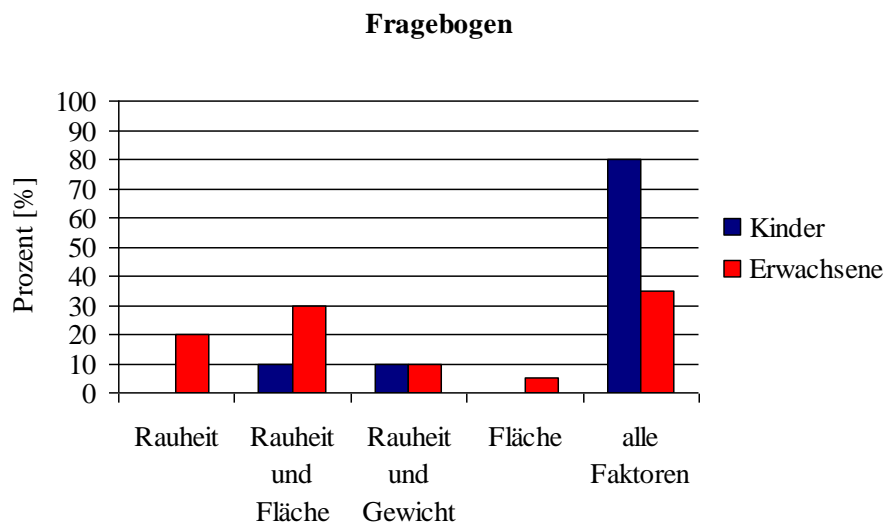


Abbildung 6-11 Im Fragebogen genannte "relevante" Faktoren im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel; Gruppe aus Experiment 1b

6.2.4 Diskussion

Die Daten aus Experiment 1b zeigen, dass sich auch mit einem alternativen Antwortformat ein Misskonzept bezüglich der Grösse der Auflagefläche ergibt. Sowohl die Urteile im Experiment wie auch die Antworten im Fragebogen verdeutlichen, dass die Kindergruppe und die Erwachsenengruppe normativ korrekt die *Rauheit* beachten. Weiter werden mehrheitlich auch der Faktor *Fläche* und (im Fragebogen) auch der Faktor *Gewicht* als relevante Faktoren hinsichtlich des kritischen Winkels betrachtet.

Die Vermutung liegt nahe, dass hinsichtlich des kritischen Winkels ein Misskonzept besteht, das über die Altersgruppen konstant ist. Dies konnte in zwei Experimenten auf impliziter und expliziter Ebene gezeigt werden. Dabei achteten die Versuchspersonen implizit auf die *Rauheit* und auf die *Fläche*, wobei sie die entsprechenden Faktoren auf additive Art und Weise miteinander verknüpften. Ebenso tritt eine inkorrekte Verknüpfung der Informationen dann auf, wenn das Antwortformat ändert. Auch bei der Änderung des Antwortformats konnte gezeigt werden, dass geglaubt wurde, dass mit zunehmender Grösse der Auflagefläche die Rutschfähigkeit verringern würde.

Im Fragebogen wurde der Faktor *Gewicht* mit einbezogen, da im Alltag Gewichte eine vielfältige Rolle spielen und auch in der in Kapitel 4.3.4 erwähnten mathematisch-physikalischen Formel auftaucht. Also muss bei den Reibungsexperimenten der Faktor *Gewicht* neben dem Faktor *Fläche* berücksichtigt werden, weshalb im nächsten Experiment der Faktor *Fläche* durch den Faktor *Gewicht* ersetzt wird, bei gleich bleibender Aufgabe für die Versuchspersonen.

7 Experiment 2

7.1 Forschungsfrage Experiment 2a: Kritischer Winkel (Rauheit, Gewicht) 20 Kinder, 20 Erwachsene

Im ersten Experiment wurden auf verschiedene Arten die Frage nach dem intuitiven Wissen bezüglich der Reibungslehre untersucht, konkret bezogen auf den kritischen Winkel. Dabei wurden die Faktoren *Rauheit* und Grösse der *Auflagefläche* variiert. Im Fragebogen wurde zusätzlich der Faktor *Gewicht* eingeführt. Dieser Faktor wird im folgenden Experiment neben dem Faktor *Rauheit* als unabhängige Variable systematisch variiert. Es wird der Frage nachgegangen, ob und wie sich Kinder und Erwachsene beim Einstellen des kritischen Winkels in Abhängigkeit von Gewicht und Rauheit der Versuchsquader unterscheiden. Auch interessieren die angewendeten Strategien und allfällige Wissensdissoziationen im Zusammenhang mit dem Faktor *Gewicht*.

7.1.1 Hypothese Experiment 2a

Im Experiment 1a wurde beim kritischen Winkel eine Wissensdissoziation bezüglich der Fläche aufgezeigt. Im folgenden Experiment interessiert, wie sich das intuitive Wissen ändert, wenn der Faktor *Fläche* konstant gehalten und anstelle dessen der Faktor *Gewicht* variiert wird. Aufgrund der Daten der Fragebogenuntersuchung wird davon ausgegangen, dass ebenfalls eine Wissensdissoziation bezüglich des Faktors *Gewicht* besteht.

Die Hypothese in Experiment 2a besagt, dass sowohl die Kinder wie auch die Erwachsenen entgegen der normativen Regel das Gewicht und die Rauheit zur Urteilsbildung integrieren, wobei wiederum die Kinder im Vergleich zu den Erwachsenen heterogener antworten. Bei beiden Gruppen wird von einer Wissensdissoziation zwischen impliziter und expliziter Ebene ausgegangen, wonach neben der *Rauheit* auch das *Gewicht* als relevanter Faktor bei der Beurteilung des kritischen Winkels mit einbezogen wird. Kinder und Erwachsene achten demnach sowohl auf die *Rauheit* der Quader wie auch auf deren *Gewicht*, und es wird eine dahingehende Vorstellung angenommen, dass schwere Quader weniger gut rutschen als leichte Quader. Die Graphen würden dann zeigen, dass die Winkel bei den schweren Quadern höher eingeschätzt werden als bei leichten Quadern.

7.1.2 Methode Experiment 2a

Um die Frage nach dem intuitiven Wissen im Zusammenhang mit der Reibung und dem Gewicht eines Objekts aufzugreifen, wurden in Experiment 2a die unabhängigen Variablen *Gewicht* und *Rauheit* bei konstanter Auflagefläche systematisch variiert, wobei die Probanden wie in Experiment 1a denjenigen Winkel einzustellen hatten, bei dem der Quader vermeintlich ins Rutschen käme (kritischer Winkel als abhängige Variable).

Versuchspersonen

Es wurden ebenfalls 20 Kinder (männlich = 11, weiblich = 9, Altersdurchschnitt = 11;5, Range = 10;0-12;11) und 20 Erwachsene (männlich = 8, weiblich = 12, Altersdurchschnitt = 24;5, Range = 19;0-31;10) untersucht.

Versuchsmaterial

Es wurden 9 Quader mit den Massen 3 x 6 x 12cm verwendet, die sich in Gewicht (150g, 300g, 450g) und Rauheit unterschieden [fein (Folie), mittelrau (CAMI = 240), rau (CAMI = 60)]. Wie in Experiment 1a und 1b wurde die schiefe Ebene verwendet, ebenfalls die Querverstrebung als effektive Rutschsperre, so dass keine Rückschlüsse auf die Rutscheigenheiten der Quader gezogen werden konnten.

Versuchsablauf

Alle Versuchspersonen wurden gleich instruiert. Zuerst konnten sie einen neutralen Quader haptisch explorieren und auf der (horizontal eingestellten) Ebene testen. Jedoch konnten sie nicht testen, wie sich der Quader im Gefälle verhalten würde. Nach dem neutralen Quader erhielten die Versuchspersonen einen der 9 Versuchsquader und durften ihn für wenige Sekunden in der Hand halten. Er wurde dann vom Versuchsleiter an die Rutschsperre der horizontal eingestellten Rampe gelegt (0° Neigung), und die Versuchspersonen sollten den Winkel einstellen, bei dem der Quader gerade ins Rutschen käme. Die Frage lautete: "Wie steil muss man die Ebene einstellen, bis der Quader zu rutschen beginnt". Der eingestellte Winkel wurde vom Versuchsleiter, nicht sichtbar für die Versuchspersonen, notiert und die schiefe Ebene wieder in die Ausgangsposition (0° Neigung) gebracht. Es folgten in randomisierter Reihenfolge die restlichen 8 Quader sowie eine Messwiederholung in anderer zufälliger Reihenfolge der 9 Quader direkt anschliessend. Anschliessend an das Experiment wurden die Versuchspersonen befragt, nach welcher Strategie sie den Winkel eingestellten haben. Im

zusätzlichen Fragebogen wurde erfasst, welche Faktoren für das soeben durchgeführte Experiment relevant seien.

7.1.3 Resultate Experiment 2a

Die Abbildung 7-1 zeigt die normativen Werte für die entsprechenden Rauheiten [fein (Folie), mittelrau (CAMI = 240), rau (CAMI = 60)] in einem vom Gewicht unabhängigen Muster, und zwar in horizontal verlaufenden Graphen.

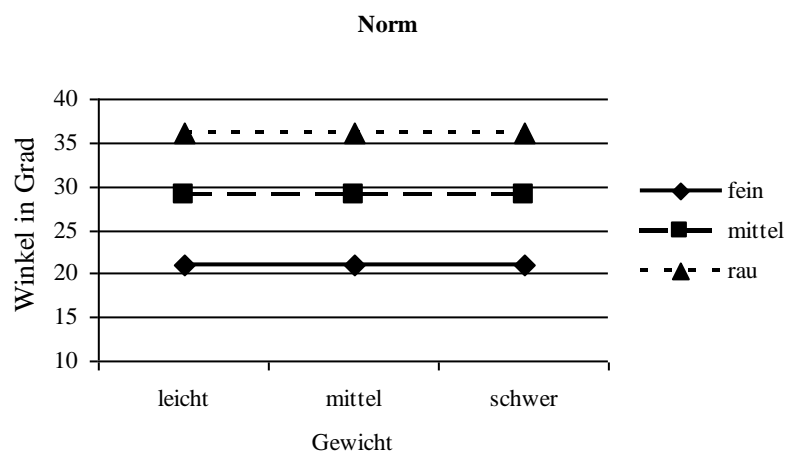


Abbildung 7-1 Graphische Darstellung des idealen Musters der Winkel in Abhängigkeit vom Gewicht und der Rauheit der Quader

Abbildung 7-2 und Abbildung 7-3 zeigen die Gruppenmittelwerte der eingestellten Winkel von Kindern und Erwachsenen in Experiment 2a. Die statistischen Analysen (Varianzanalysen) ergaben in beiden Altersgruppen keine Effekte des Faktors *Gewicht*, dafür signifikante Effekte des Faktors *Rauheit*. Bei den Daten der Erwachsenen ist die Interaktion der beiden Faktoren *Rauheit* und *Gewicht* signifikant. Erwachsene schätzten zudem im Durchschnitt die kritischen Winkel tiefer ein als die Kinder, die näher an den normativen Werten lagen.

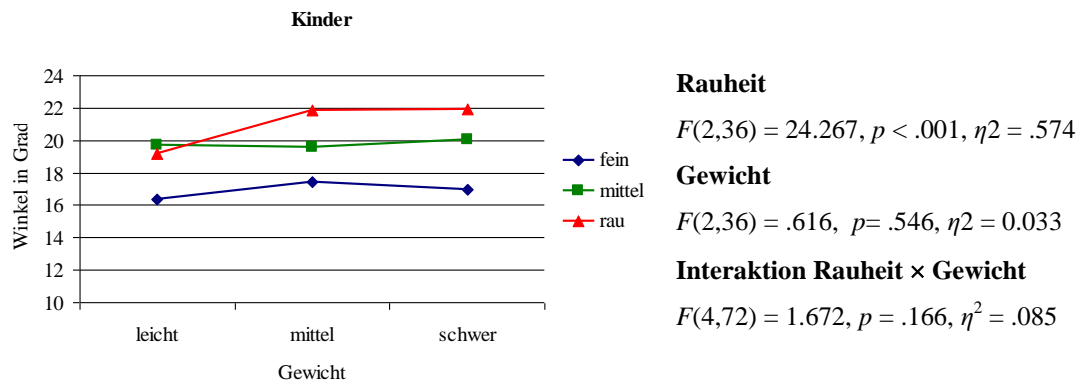


Abbildung 7-2 Gruppenmittelwerte der eingestellten Winkel der Kinder

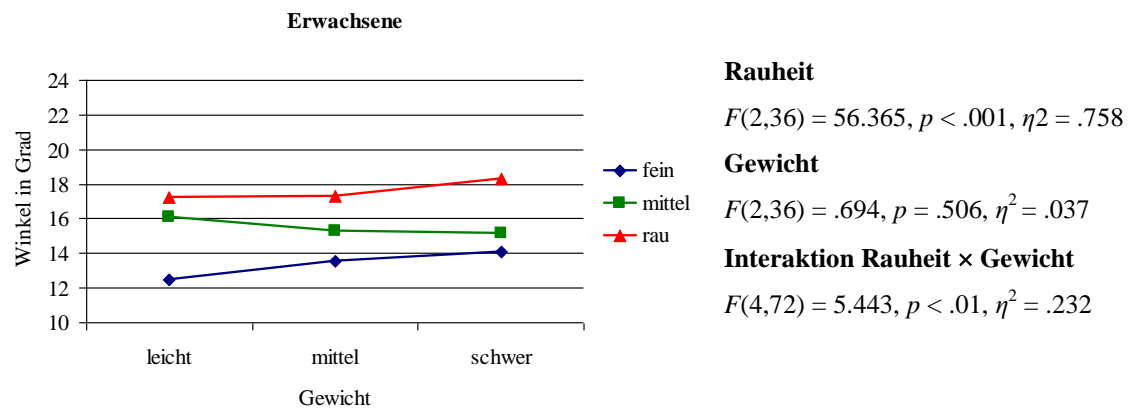


Abbildung 7-3 Gruppenmittelwerte der eingestellten Winkel der Erwachsenen

Gruppenanalysen

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Rauheit* (3) und *Gewicht* (3) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (2) und *Geschlecht* (2). Dabei zeigen sich ein signifikanter Alters- ($F(1, 36) = 13.84, p < .01, \eta^2 = .278$) und Geschlechtereffekt ($F(1, 36) = 5.817, p < .05, \eta^2 = .139$).

Bei der Analyse der Altersgruppen fand sich bei den Kindern nur ein Haupteffekt des Faktors *Rauheit* ($F(2;36) = 24.267, p < .001, \eta^2 = .574$), jedoch nicht des Faktors *Gewicht* ($F(2;36) = .616, p = .546, \eta^2 = 0.033$) oder deren Interaktion ($F(4;72) = 1.672, p = .166, \eta^2 = .085$). Auch bei den Erwachsenen ergab sich ein Haupteffekt des Faktors *Rauheit* ($F(2,36) = 56.365, p < .001, \eta^2 = .758$), aber nicht des Faktors *Gewicht* ($F(2,36) = .694, p = .506, \eta^2 = .037$); hingegen war die Interaktion der beiden Faktoren signifikant ($F(4,72) = 5.443, p < .01, \eta^2 = .232$). Nur bei den Erwachsenen zeigt sich zudem ein signifikanter Effekt der *Rauheit* und des *Geschlechts*

($F(2, 36) = 4.941, p < .05, \eta^2 = .215$), wobei die weiblichen Versuchspersonen im Durchschnitt tiefere Winkel einstellten als die männlichen Versuchspersonen (Abbildung 7-8). Bei den Frauen findet sich zudem eine signifikante Interaktion der Faktoren *Rauheit* und *Gewicht*, die bei beiden Kindergruppen und den Männern nicht signifikant war (Abbildung 7-4 bis Abbildung 7-7). Die Messwiederholung ergab weder bei den Kindern ($F(1, 18) = 2.06, p = .168, \eta^2 = .103$) noch bei den Erwachsenen ($F(1, 18) = 1.023, p = .325, \eta^2 = .054$) einen signifikanten Effekt.

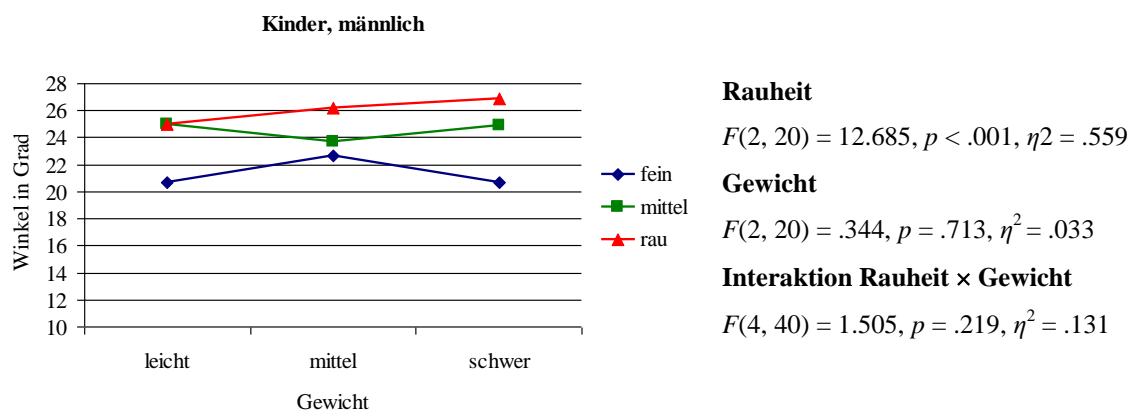


Abbildung 7-4 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Knaben

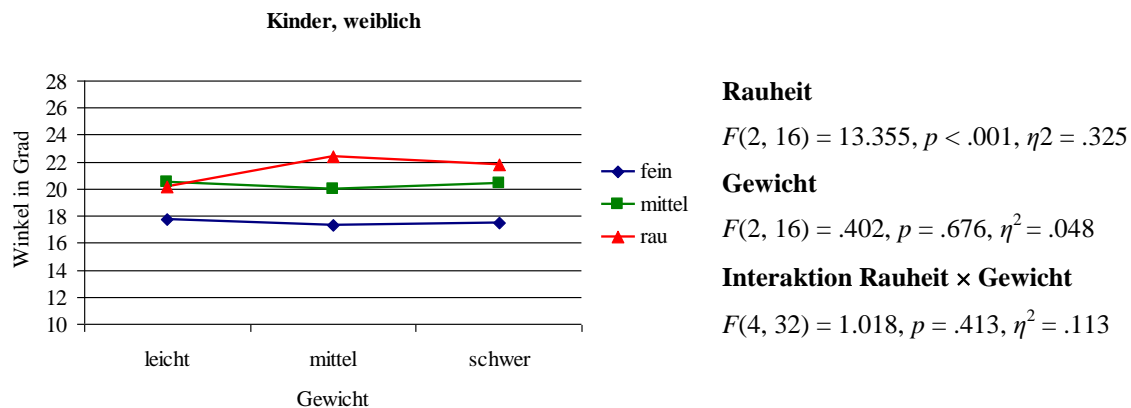


Abbildung 7-5 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Mädchen

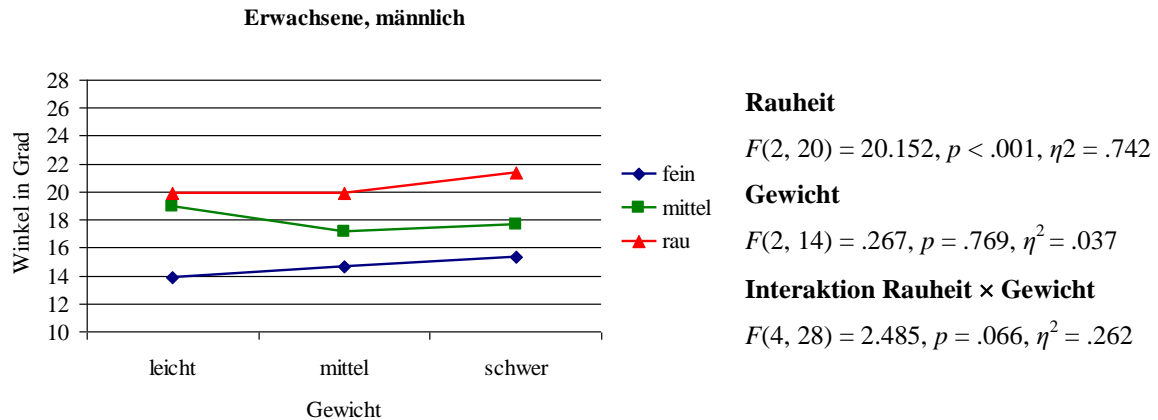


Abbildung 7-6 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Männer

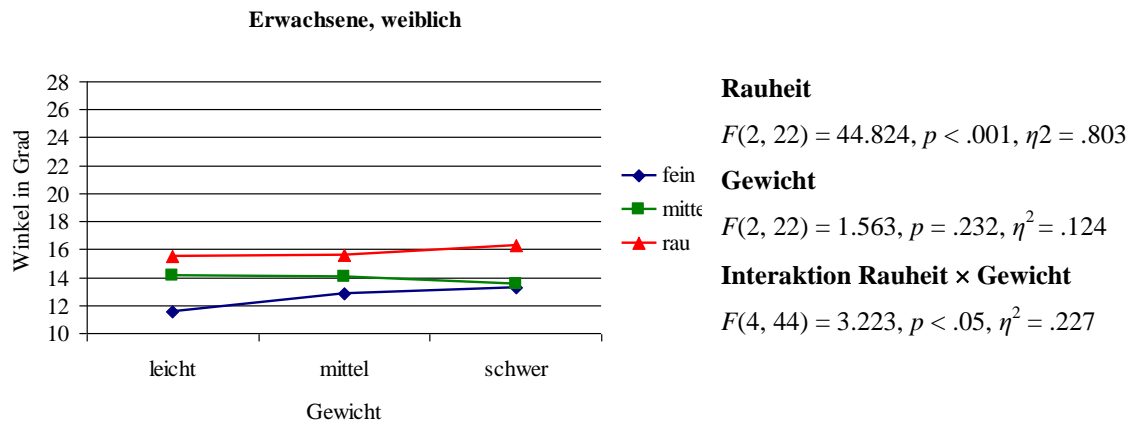


Abbildung 7-7 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Frauen

In den über das (irrelevante) Gewicht gemittelten Graphen, sieht man den Alters- und Geschlechtereffekt. Knaben stellten die kritischen Winkel steiler ein als die Mädchen und die Männer steiler als Frauen. Zudem wurden die Winkel von den Kindern höher eingestellt als von den Erwachsenen (Abbildung 7-8).

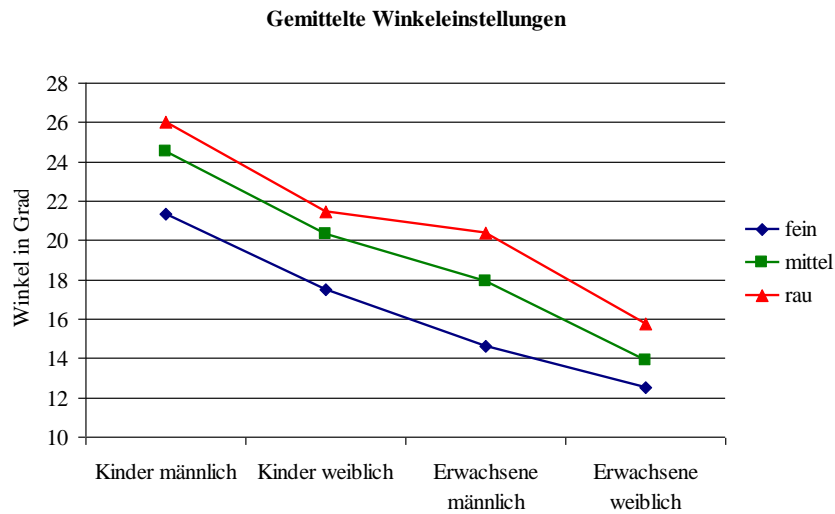


Abbildung 7-8 Gemittelte Winkleinstellungen bezüglich Rauheiten, nach Altersgruppe und Geschlecht

Die gemittelten Winkel (Abbildung 7-9) liegen bei den Knaben im Durchschnitt bei 24.0 Grad (SD = 6.5 Grad), bei den Mädchen bei 19.8 Grad (SD = 5.5 Grad). Die Erwachsenen stellten tiefere Winkel ein: Die Männer im Durchschnitt 17.6 Grad (SD = 6.3 Grad), die Frauen durchschnittlich 14.1 Grad (SD = 3.7 Grad).

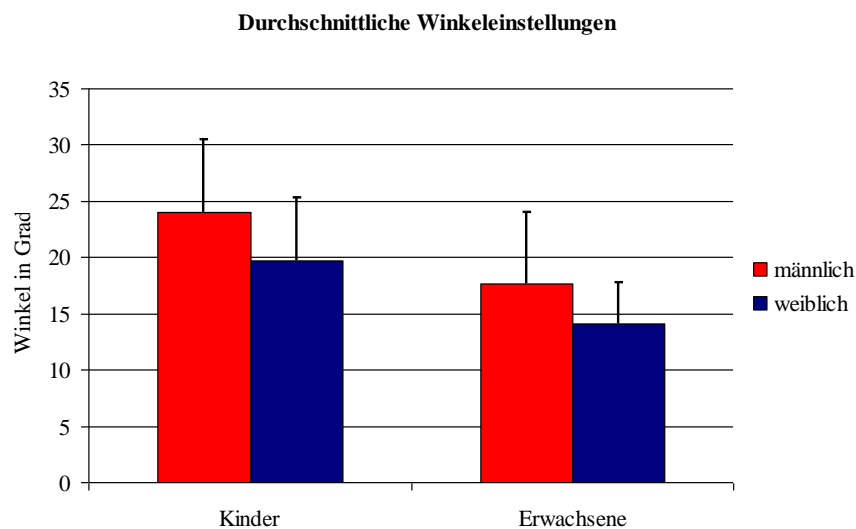


Abbildung 7-9 Durchschnittliche Winkleinstellungen der Gruppen und Geschlechter

Beide Gruppen bezogen normativ korrekt nur die Rauheit der Quader in ihr Urteil mit ein und beachteten beim Einstellen des kritischen Winkels nicht das Gewicht.

Nach der Gruppenanalyse zentrierten die Probanden somit korrekterweise auf den Faktor *Rauheit*, nicht jedoch auf den Faktor *Gewicht*. Dies wird in den Graphen der Abbildung 7-2 und Abbildung 7-3 deutlich, die vertikal versetzt, aber horizontal auf gleicher Ebene verlaufen. Mit zunehmendem Gewicht ist kein signifikanter Anstieg erkennbar.

Auch wenn die weiblichen Versuchspersonen insgesamt tiefere Winkel einstellten und die männlichen Versuchspersonen höhere, liegen durchschnittlich alle eingestellten Winkel deutlich unter den physikalisch normativ korrekten Werten. Beide Gruppen unterschätzten also die Rauheiten in Bezug auf die Realität. Die Daten der Kinder hingegen liegen insgesamt näher an den normativen Werten.

Einzelanalysen

Die oben gefundenen Werte beziehen sich auf die über die Gruppen gemittelten Daten. Eine Analyse der von einzelnen Personen ausgeführten Strategien ergibt, dass 40% ($n = 8$) normativ korrekt auf den Faktor *Rauheit* und 5% ($n = 1$) auf das Gewicht zentrieren. Die restlichen 55% ($n = 11$) verfolgten keine ersichtliche Strategie. Bei den Erwachsenen zentrierten 40% ($n = 8$) physikalisch korrekt auf den Faktor *Rauheit*, 20% ($n = 4$) verknüpften additiv, 5% ($n = 1$) multiplikativ und 35% ($n = 7$) verfolgten keine ersichtliche Strategie (s. Abbildung 7-10). Tabelle 11-4 im Anhang gibt einen Überblick über die prozentualen Anteile der intuitiv angewendeten Strategien.

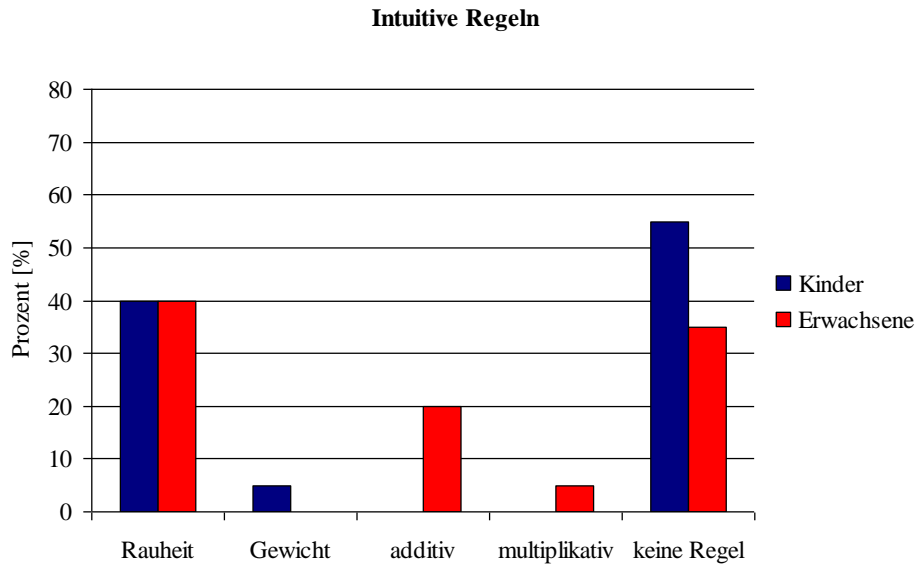


Abbildung 7-10 Darstellung der Verteilung der intuitiven Regeln; Experiment 2a

Auffallend sind die vielen Versuchspersonen, die aufgrund der Einzelanalysen keine klar ersichtliche Regel verfolgten. Mittelt man über diese Versuchspersonen und rechnet erneut eine Varianzanalyse, so zeigt sich bei der Kindergruppe ein Haupteffekt des Faktors *Rauheit* ($F(2, 20) = 9.509, p < .01, \eta^2 = .487$), aber nicht des Faktors *Gewicht* ($F(2, 20) = 2.334, p = .123, \eta^2 = .189$) oder deren Interaktion ($F(4, 40) = 1.043, p = .397, \eta^2 = .094$). Auch bei den Erwachsenen findet sich ein Haupteffekt des Faktors *Rauheit* ($F(2, 10) = 22.072, p < .001, \eta^2 = .815$), aber nicht des Faktors *Gewicht* ($F(2, 10) = .492, p = .626, \eta^2 = .09$) oder deren Interaktion ($F(4, 20) = .2241, p = .101, \eta^2 = .309$) (s. Abbildung 7-11 und Abbildung 7-12).

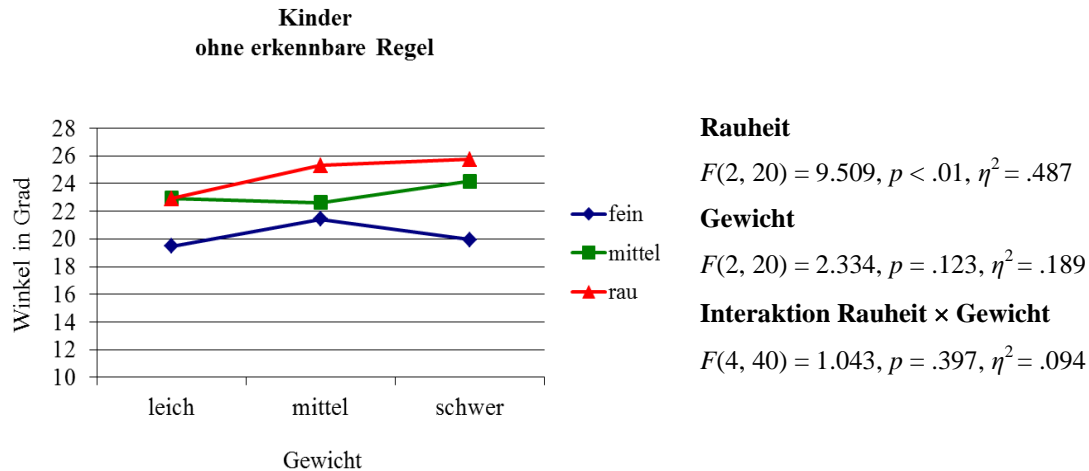


Abbildung 7-11 Gemittelte Winkeleinstellungen der Kinder, die ohne erkennbare Regel vorgingen

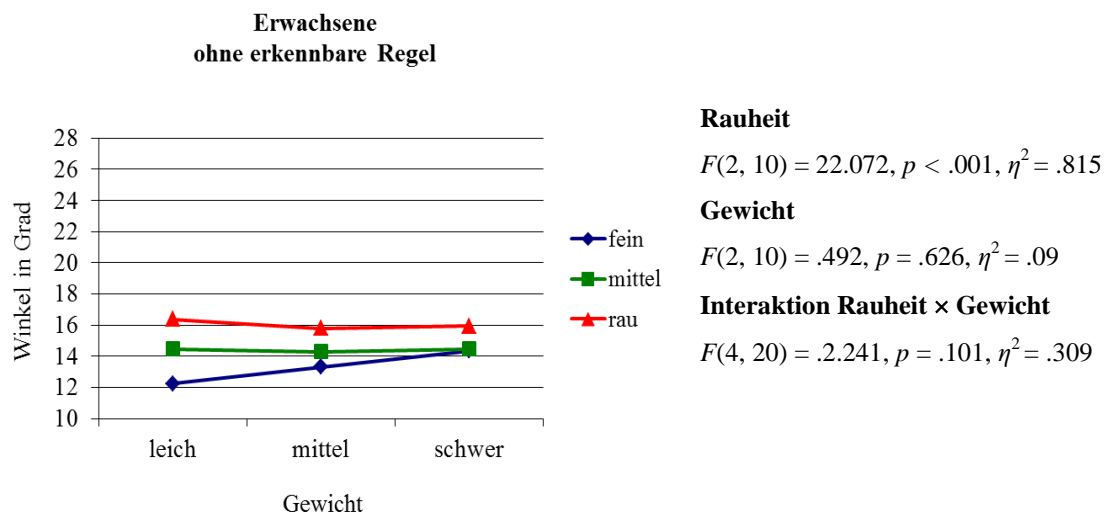


Abbildung 7-12 Gemittelte Winkeleinstellungen der Kinder, die ohne erkennbare Regel vorgingen

Berechnet man den Durchschnitt der entsprechenden Werte, so ergeben sich die Graphen in Abbildung 7-11 und Abbildung 7-12. Im Vergleich zu den Erwachsenen stellten die Kinder die Winkel höher ein und lagen mit 20.3 Grad (SD = 5.6 Grad; fein), 23.2 Grad (SD = 5.9 Grad; mittlere Rauheit) und 24.7 Grad (SD = 8.3 Grad; rau) näher an den normativen Werten als die Erwachsenen (fein = 13.3 Grad, SD = 3.3 Grad; mittlere Rauheit = 14.4 Grad, SD = 3.4 Grad; rau = 16.0 Grad, SD = 3.3 Grad), womit beide Gruppen die physikalisch korrekten Winkel unterschätzen. Die Erwachsenen weichen dabei stärker von der Norm ab als die Kinder

(Abbildung 7-13). Mit zunehmender Rauheit der Quader entfernen sich jedoch die Daten beider Altersgruppen stärker, aber gleichmässig, von der Norm.

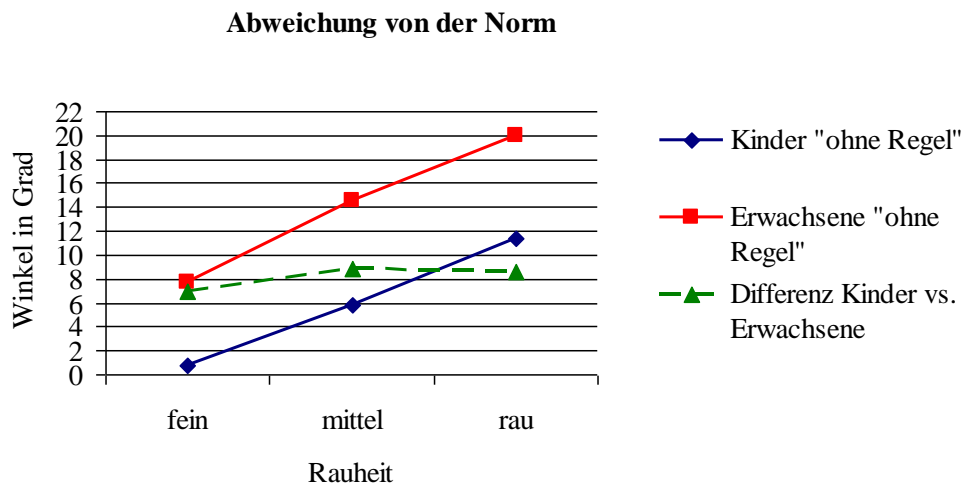


Abbildung 7-13 Normabweichungen der Gruppen, die ohne erkennbare Regel vorgingen

Tabelle 7-1 gibt einen Überblick über die Abweichungen von den normativen Werten und der Differenz der Altersgruppen bezüglich der Rauheitsgrade.

Tabelle 7-1 Abweichungen in Grad von der Norm und Differenz der Altersgruppen

	Kinder "ohne Regel"	Erwachsene "ohne Regel"	Differenz Kinder vs. Erwachsene
Rauheit fein	0.7	-7.7	6.9
Rauheit mittel	-5.8	-14.6	8.8
Rauheit rau	-11.3	-19.9	8.6

Fragebogen

Im anschliessend an das Experiment 2a dargebotenen Fragebogen (gleich wie in den vorangegangenen Experimenten) wurde wieder nach dem expliziten Wissen über die Relevanz der Faktoren *Rauheit*, *Fläche* und *Gewicht* gefragt.

Die Daten (s. Abbildung 7-14) zeigen, dass alle 40 Versuchspersonen korrekt die *Rauheit* immer als sicheren, aber nie als alleinigen relevanten Faktor nannten. 65% der Kinder ($n = 13$) glaubten, dass alle drei Faktoren beim kritischen Winkel eine Rolle spielen, bei den Erwachsenen waren dies sogar 90% ($n = 18$). 25% der Kinder ($n = 5$) und 10% der Erwachsenen ($n = 2$) waren der Auffassung, dass neben der *Rauheit* auch das *Gewicht* relevant sei, und 10% der Kinder ($n = 2$) gaben an, dass im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel zusätzlich zur Rauheit die Grösse der Auflagefläche wichtig sei. Tabelle 11-5 im Anhang bietet einen Überblick über die prozentualen Anteile der Nennungen der relevanten Faktoren.

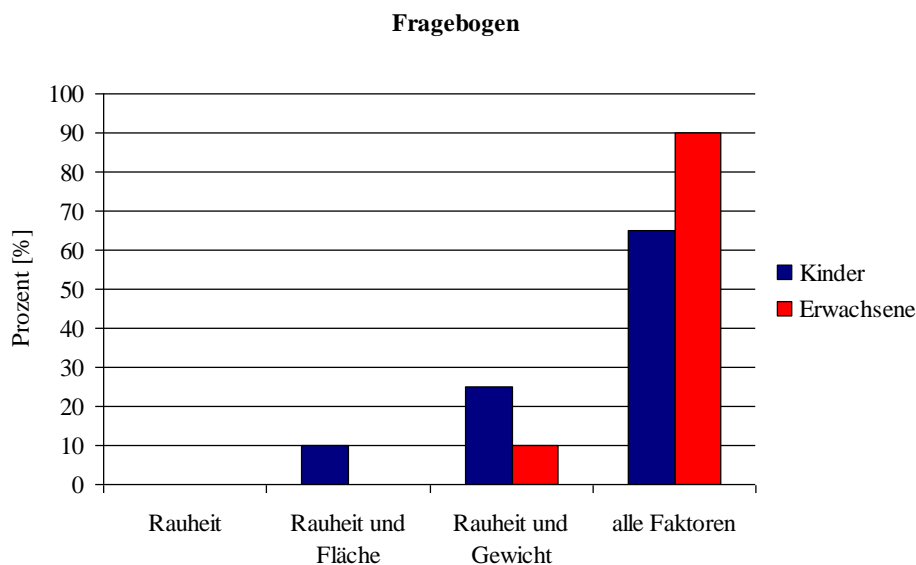


Abbildung 7-14 Im Fragebogen genannte "relevante" Faktoren im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel; Gruppe aus Experiment 2a

7.1.4 Diskussion

Die in Experiment 2a gewonnenen Daten zeigen, dass die Versuchspersonen beim Einstellen der Winkel normativ korrekt die *Rauheit* als relevanten Faktor beachtetten und nicht das *Gewicht*. Dabei waren die Kinder näher an der physikalischen Realität als die Erwachsenen, obschon alle die Rauheit dahingehend unterschätzten, dass sie die kritischen Winkel zu tief einstellten. Die weiblichen Versuchspersonen unterschätzten dies im Vergleich zu den männlichen Versuchspersonen noch mehr. In der Folge wird mit zunehmender Rauheit die Differenz zur Norm grösser, wobei sich die Gruppen quantitativ nicht unterscheiden. Weiter

fand sich im Mittel eine korrekte Rauheitszentrierung bei Versuchspersonen, die in den Einzelanalysen keine offensichtliche Strategie verfolgten.

Beim expliziten Urteilen ergab sich ein unterschiedliches Bild. Die Mehrheit der Versuchspersonen (Kinder 65%, Erwachsene 90%) gab an, dass alle drei Faktoren einen Einfluss auf den kritischen Winkel hätten. Keine Versuchsperson gab an, dass alleine die *Rauheit* beim kritischen Winkel verantwortlich sei. Hingegen gaben 35% der Kinder und 10% der Erwachsenen an, dass die *Rauheit* und ein zweiter Faktor (*Fläche* oder *Gewicht*) verantwortlichen seien. Nach Experiment 2a besteht auch hinsichtlich des Faktors Gewicht ein Misskonzept eine Wissensdissoziation wenn einerseits der kritische Winkel eingestellt und andererseits durch explizites Wissen über die Faktoren geurteilt werden soll.

7.2 Forschungsfrage Experiment 2b: Kritischer Winkel (Rauheit, Gewicht)

40 Kinder, 40 Erwachsene

Im Experiment 2a fielen die expliziten Antworten der Versuchspersonen sehr unterschiedlich aus. Um statistische Messfehler zu minimieren, wurde im folgenden Experiment die Anzahl Versuchspersonen erhöht. Es wird wiederum der Frage nachgegangen, ob die beiden Altersgruppen Kinder und Erwachsene über ein unterschiedliches Wissen auf expliziter und impliziter Ebene verfügen.

7.2.1 Hypothese Experiment 2b

Durch die Erhöhung der Anzahl Versuchspersonen sollte sich ein klareres Bild abzeichnen, wobei die Kinder wiederum näher an den normativen korrekten Werten liegen und die weiblichen Versuchspersonen tiefere Winkel einstellen als die männlichen Versuchspersonen.

7.2.2 Methode Experiment 2b

Versuchspersonen

Es werden insgesamt 80 Versuchspersonen untersucht, eine Kindergruppe mit 40 Versuchspersonen (männlich = 20, weiblich = 20, Altersdurchschnitt = 11;5, Range = 9;0-13;11) und eine Erwachsenenengruppe mit ebenfalls 40 Versuchspersonen (männlich = 20, weiblich = 20, Altersdurchschnitt = 24;4, Range = 19;0-37;11).

Alle Versuchspersonen nahmen freiwillig am Experiment Teil, wobei die Kinder die Erlaubnis ihres Erziehungsberechtigten vorweisen mussten.

Versuchsmaterial

Das Versuchsmaterial ist identisch mit dem in Experiment 2a.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entspricht demjenigen in Experiment 2a.

7.2.3 Resultate Experiment 2b

Die Abbildung 7-15 zeigt das normative Muster, das bei den entsprechenden Rauheiten [fein (Folie), mittelrau (CAMI = 240), rau (CAMI = 60)] entsteht: Ein gleichmässiges, vom Gewicht unabhängiges Muster mit horizontal verlaufenden, nicht ansteigenden Graphen. Die physikalisch korrekten kritischen Winkel sind bei den verwendeten Körnungen und den daraus entstehenden Haftreibungskoeffizienten 36 Grad (feinste Rauheit), 29 Grad (mittlere Rauheit) und 21 Grad (raue Rauheit).

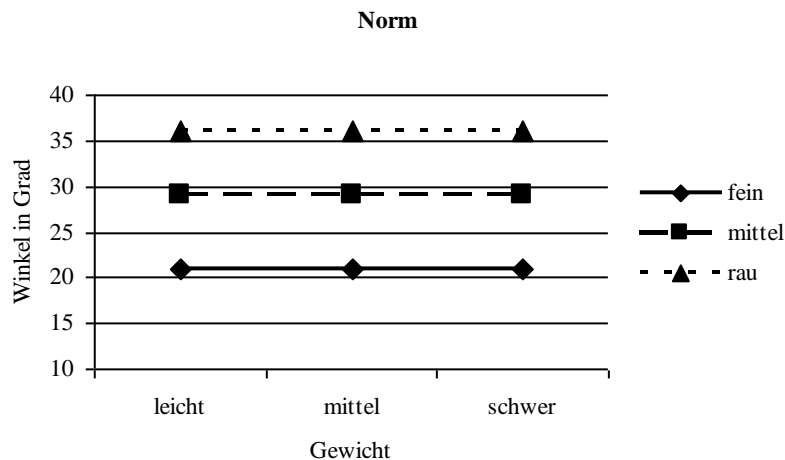


Abbildung 7-15 Graphische Darstellung des idealen Musters der Winkel in Abhängigkeit des Gewichts und der Rauheit der Quader

Gruppenanalysen

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Rauheit* (3) und *Gewicht* (3) und den Zwischensubjekt-Faktoren *Altersgruppe* (2) und *Geschlecht* (2). Dabei resultierten ein signifikanter Alters- ($F(1, 76) = 6.868, p < .05, \eta^2 = .083$) und Geschlechtereffekt ($F(1, 76) = 14.618, p < .001, \eta^2 = .010$).

Bei der Analyse der beiden Gruppen findet sich bei der Kindergruppe ein signifikanter Haupteffekt des Faktors *Rauheit* ($F(2, 76) = 53.889, p < .001, \eta^2 = .586$), aber nicht des Faktors *Gewicht* ($F(2, 76) = 2.345, p = .103, \eta^2 = .058$). Es zeigt sich auch eine signifikante Interaktion der beiden Faktoren ($F(4, 152) = 2.444, p < .05, \eta^2 = .060$). Bei den Erwachsenen findet sich ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt des Faktors *Rauheit* ($F(2, 76) = 101.499, p < .001, \eta^2 = .728$) auf, aber nicht des Faktors *Gewicht* ($F(2, 76) = .163, p = .85, \eta^2 = .004$) oder deren Interaktion ($F(4, 152) = 1.925, p = .109, \eta^2 = .048$). Weiter ergab sich bei den Erwachsenen

eine signifikante Interaktion von *Rauheit* und *Geschlecht* ($F(2, 76) = 8.881, p < .001, \eta^2 = .189$). Bezüglich Messwiederholung sind wiederum keine Effekte sichtbar (Kinder: $F(2, 76) = .471, p = .497, \eta^2 = .012$; Erwachsene: $F(2, 76) = .275, p = .603, \eta^2 = .007$).

Abbildung 7-16 und Abbildung 7-17 zeigen die Gruppenmittelwerte der eingestellten Winkel in Experiment 2b bei den Kindern und den Erwachsenen. Die statistischen Analysen (Varianzanalysen) ergaben in beiden Altersgruppen einen Haupteffekt des Faktors *Rauheit*, aber keinen Effekt des Faktors *Gewicht*. Die Graphen lassen zudem erkennen, dass die Erwachsenen im Durchschnitt die kritischen Winkel tiefer einschätzen als die Kinder, die wiederum näher an den normativen Werten liegen.

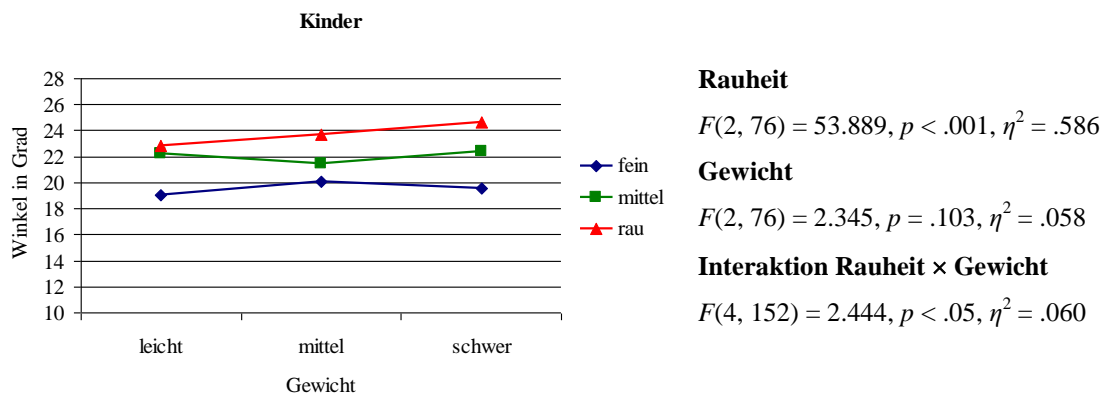


Abbildung 7-16 Gruppenmittelwerte der eingestellten Winkel der Kinder

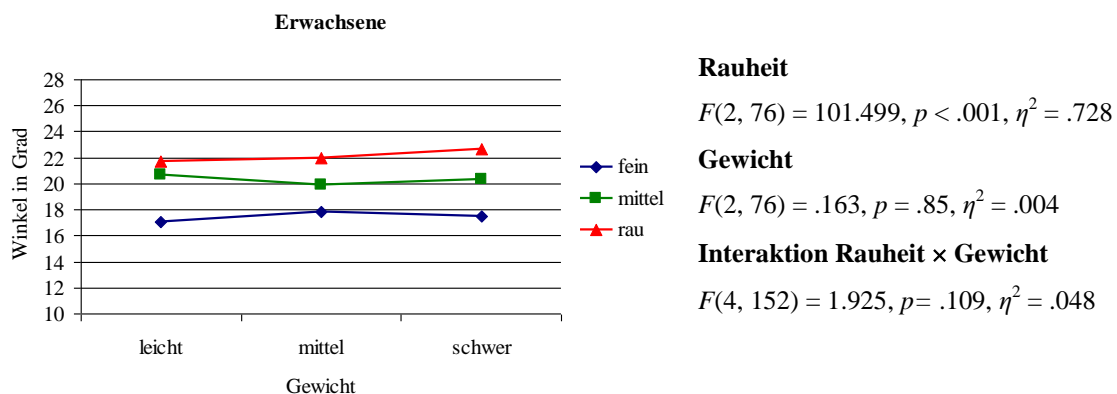


Abbildung 7-17 Gruppenmittelwerte der eingestellten Winkel der Erwachsenen

Die Analyse der aggregierten Daten nach Alter und Geschlechter zeigt, dass die Knaben (Abbildung 7-18) normativ korrekt auf den Faktor Rauheit zentrieren ($F(2, 38) = 30.544, p < .001, \eta^2 = .617$). Die Mädchen hingegen beachten sowohl die Rauheit ($F(2, 38) = 23.528, p < .001, \eta^2 = .553$), zusätzlich aber auch das Gewicht ($F(2, 38) = .307, p = .738, \eta^2 = .016$). Sie verfolgen offenbar eine additive Regel (Abbildung 7-19). Die Männer liefern ebenfalls ein normativ korrektes Bild, indem sie nur auf den Faktor Rauheit zentrieren $F(2, 38) = 66.764, p < .001, \eta^2 = .778$), dasselbe zeigt sich bei den Frauen ($F(2, 38) = 34.951, p < .001, \eta^2 = .648$).

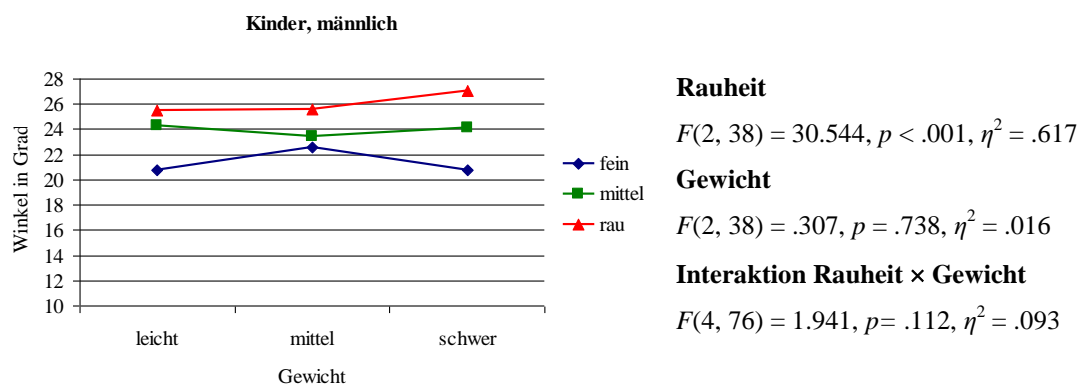


Abbildung 7-18 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Knaben

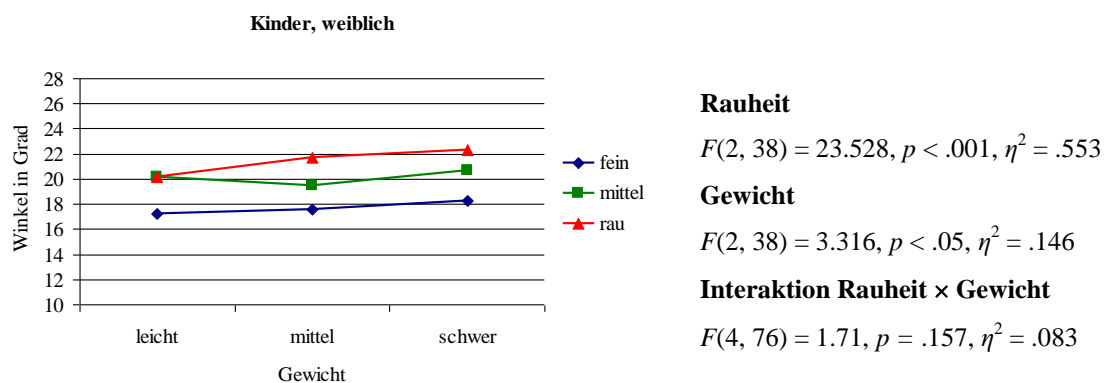


Abbildung 7-19 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Mädchen

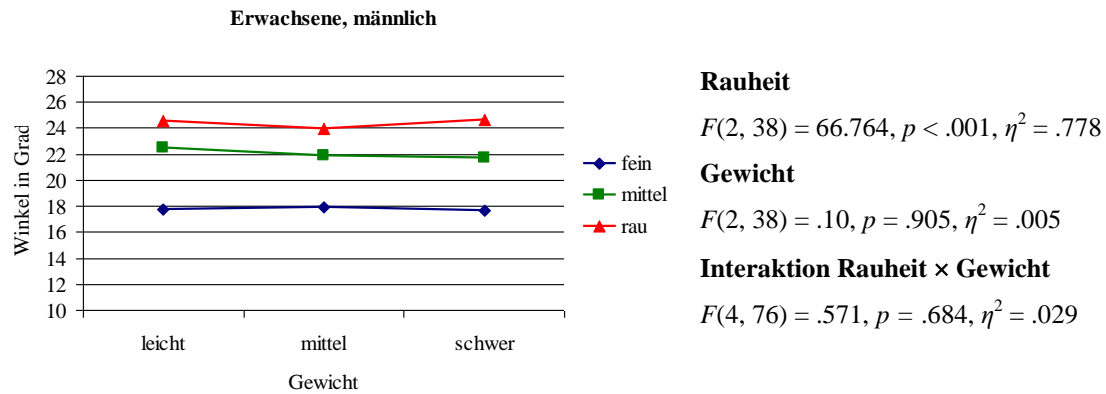


Abbildung 7-20 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Männer

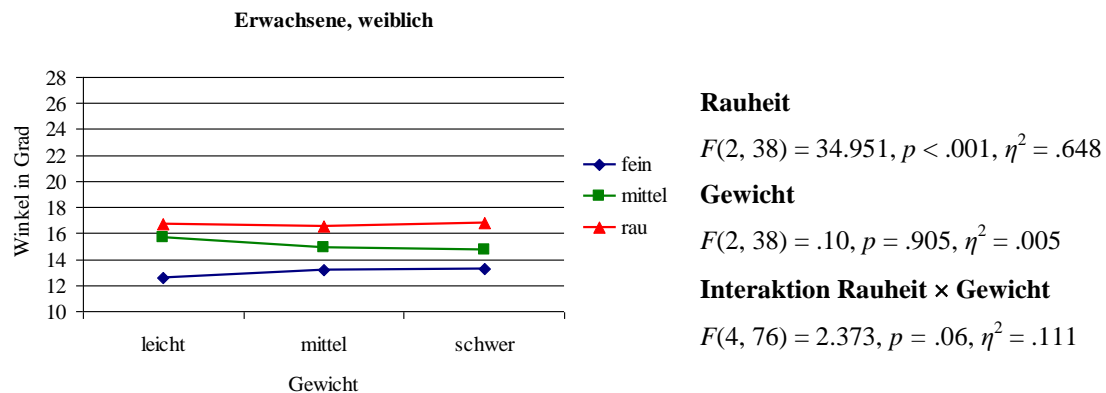


Abbildung 7-21 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Frauen

Die männlichen Versuchspersonen stellten im Durchschnitt die Winkel höher ein als die weiblichen Versuchspersonen (Abbildung 7-22), die Männer steiler als die Mädchen und die Frauen am flachsten. Die Knaben stellten die Winkel am steilsten ein, im Durchschnitt einen Winkel von 23.8 Grad (SD = 6.4 Grad), die Mädchen hingegen einen Winkel von 19.7 (SD = 7.2 Grad). Die Männer stellen höher (Durchschnittlicher Winkel = 21.4 Grad, SD = 7.9 Grad) als die Frauen (Durchschnittlicher Winkel = 14.9 Grad, SD = 4.0) ein (Abbildung 7-23). Alle Gruppen liegen deutlich unter den normativ korrekten Winkeln.

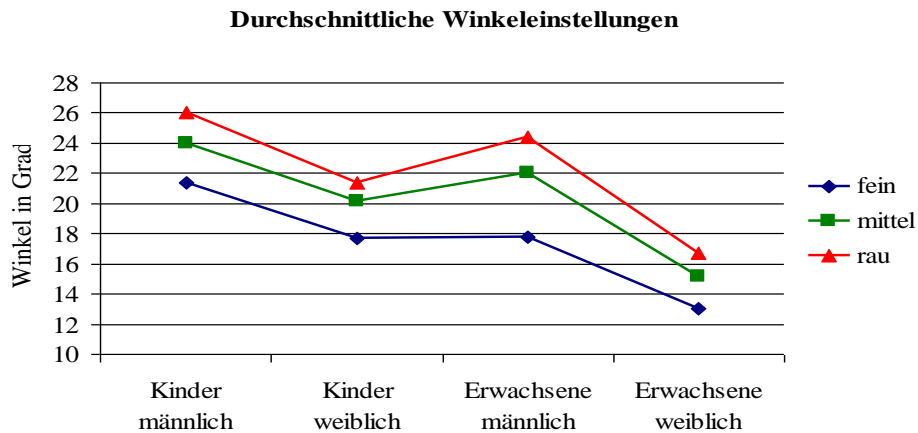


Abbildung 7-22 Durchschnittliche Winkeleinstellungen nach Gruppen und Geschlechter

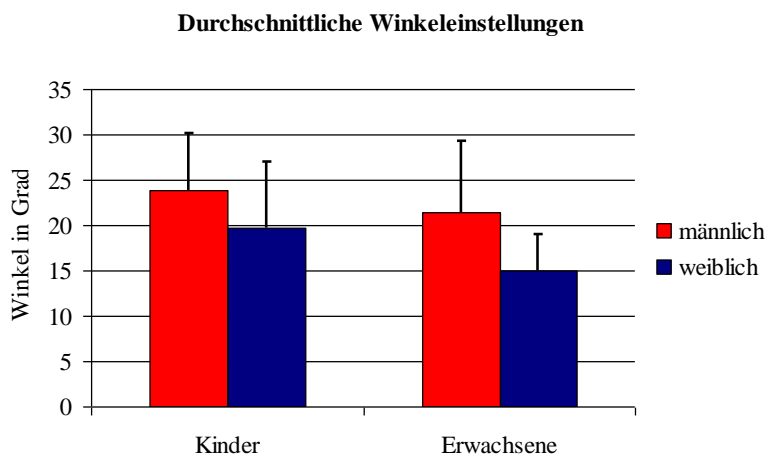


Abbildung 7-23 Durchschnittliche Winkeleinstellungen nach Gruppen und Geschlechter

Einzelanalysen

Die Einzelanalysen (Abbildung 7-24) ergaben, dass 35% der Kinder ($n = 14$) und 45% der Erwachsenen ($n = 18$) implizit und normativ korrekt auf die Rauheit zentriert haben. 12.5% der Kinder ($n = 5$) und 5% der Erwachsenen ($n = 2$) haben auf den Faktor Gewicht zentriert, je 2.5% der Versuchspersonen (je $n = 1$) verfolgten implizit eine multiplikative Regel und bei 42.5% der Kinder ($n = 17$) und 25% der Erwachsenen ($n = 10$) ist keine erkennbare Regel zu sehen. Einen Überblick über die prozentualen Anteile der intuitiv angewendeten Regeln findet sich in Tabelle 11-6 im Anhang.

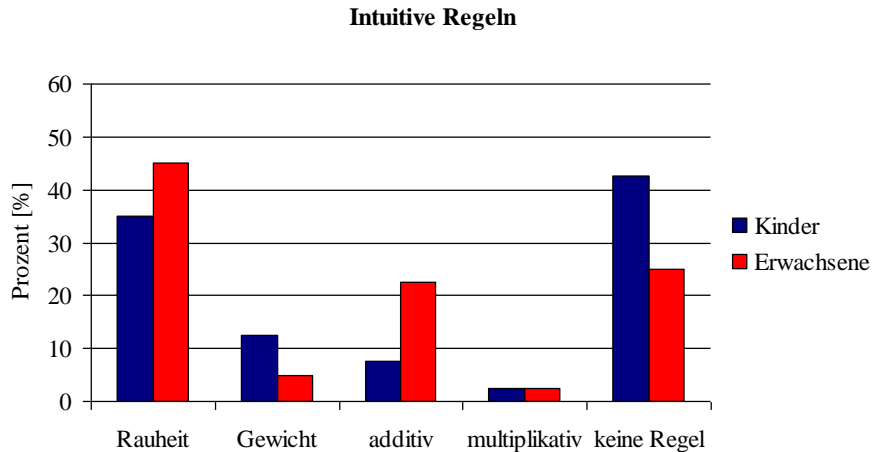


Abbildung 7-24 Verteilung der intuitiven Regeln Experiment 2b

Auffallend in Abbildung 7-24 sind die vielen Versuchspersonen, die beim Einstellen der Winkel ohne erkennbare Regel vorgegangen sind, womit diese Ergebnisse mit denen aus Experiment 2a vergleichbar sind. Bei der Analyse der entsprechenden Versuchspersonen ergibt sich bei der Kindergruppe ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Rauheit ($F(2, 32) = 14.599$, $p < .001$, $\eta^2 = .477$), hingegen kein signifikanter Effekt des Faktors Gewicht ($F(2, 32) = 1.142$, $p = .332$, $\eta^2 = .067$) oder deren Interaktion ($F(4, 64) = 1.014$, $p = .407$, $\eta^2 = .06$). Auch bei den Erwachsenen findet sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Rauheit ($F(2, 18) = 34.948$, $p < .001$, $\eta^2 = .795$), aber nicht des Faktors Gewicht ($F(2, 18) = .543$, $p = .59$, $\eta^2 = .057$) oder deren Interaktion ($F(2, 36) = 1.173$, $p = .339$, $\eta^2 = .115$). Beide Gruppen zentrieren also bei dieser Analyse normativ korrekt auf die Rauheit (Abbildung 7-26 und Abbildung 7-27).

Abbildung 7-25 verdeutlicht, dass 25% der Knaben ($n = 5$), 45% der Mädchen ($n = 9$), 40% der Männer ($n = 8$) und 50% der Frauen ($n = 10$) korrekt auf den Faktor Rauheit zentriert haben. Gut ein Drittel der Männer (35%, $n = 7$) verfolgten eine additive Strategie. Bei 60% der Knaben ($n = 12$) war keine Regel erkennbar, ebenfalls nicht bei 40% der Frauen ($n = 8$). Tabelle 11-1 gibt einen Überblick über die prozentuale Verteilung der intuitiven Regeln der Kinder und Erwachsenen nach Geschlechtern.

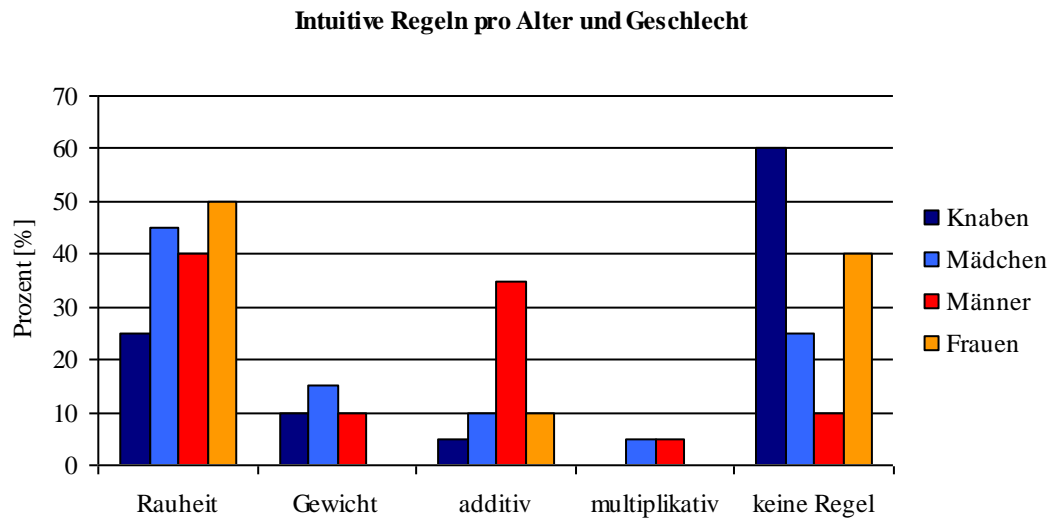


Abbildung 7-25 Intuitive Regeln nach Alter und Geschlecht

Berechnet man den Durchschnitt der Werte, so ergeben sich die Graphen in Abbildung 7-26 und Abbildung 7-27, die dem normativen Zentrieren entsprechen. Dabei stellten die Kinder im Vergleich zu den Erwachsenen die Winkel höher ein und liegen mit 21.2 Grad (SD = 6.8 Grad; fein), 23.6 Grad (SD = 7.4 Grad; mittlere Rauheit) und 25.1 Grad (SD = 8.8 Grad; rau) näher an den normativen Werten als die Erwachsenen (fein = 13.8 Grad, SD = 3.5 Grad; mittlere Rauheit = 15.4 Grad, SD = 4.1 Grad; rau = 16.7 Grad, SD = 3.8 Grad). Beide Gruppen unterschätzten jedoch die physikalisch korrekten Winkel. Die Erwachsenen wichen dabei stärker von der Norm ab als die Kinder (Abbildung 7-28). Diese stellten den kritischen Winkel bei der feinen Kategorie nahe den normativen Werten entsprechend ein. Die Abweichung um - 0.2 Grad kann dabei aufgrund der Handhabung des Versuchsmaterials vernachlässigt werden. Mit zunehmender Rauheit wichen jedoch beide Altersgruppen stärker von der Norm ab, unterscheiden sich dabei aber gleichmässig.

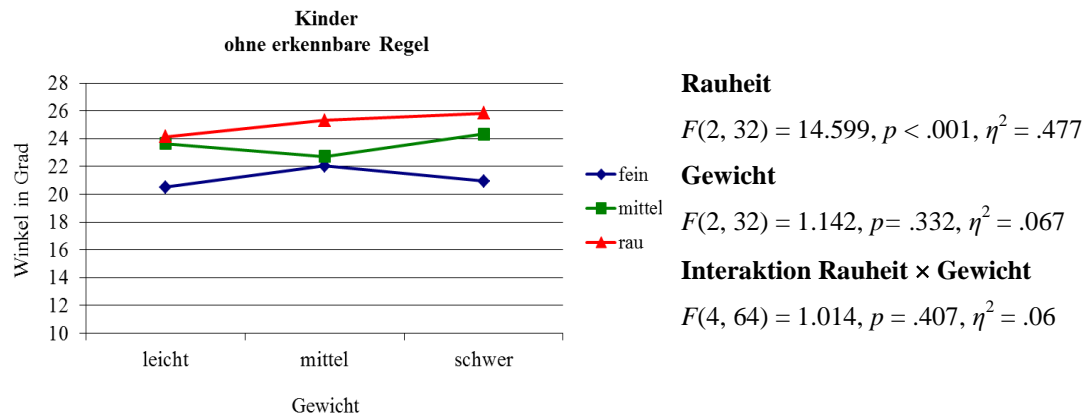


Abbildung 7-26 Gemittelte Winkeleinstellungen der Kinder, die ohne erkennbare Regel vorgingen

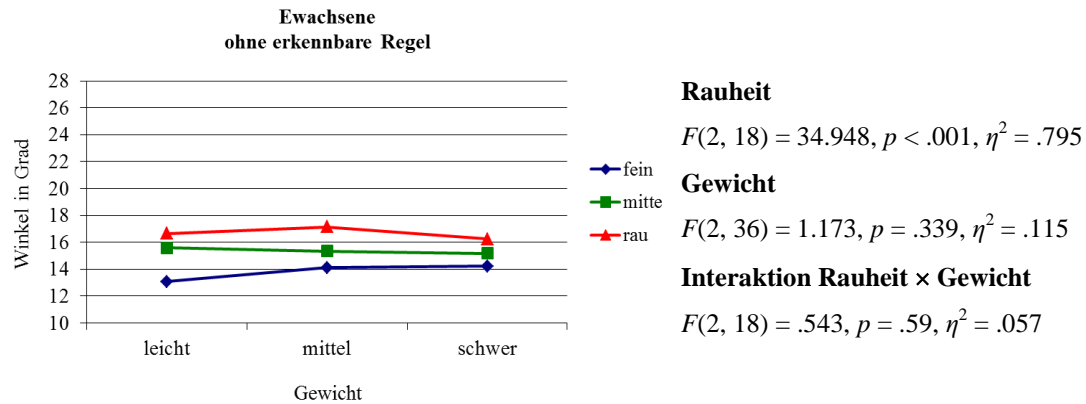


Abbildung 7-27 Gemittelte Winkeleinstellungen der Erwachsenen, die ohne erkennbare Regel vorgingen

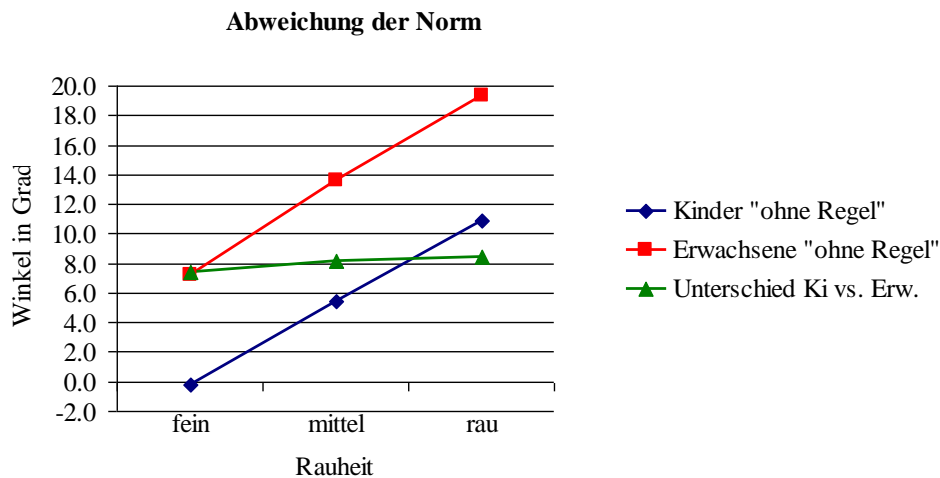


Abbildung 7-28 Abweichungen in Grad von der Norm der Gruppen, die ohne erkennbare Regel vorgingen

Tabelle 7-2 gibt einen Überblick über die Abweichungen zu den normativen Werte und die Differenz der Altersgruppen bezüglich der Rauheitsgrade.

Tabelle 7-2 Abweichungen in Grad von der Norm und Differenz der Altersgruppen

	Kinder ohne erkennbare Regel	Erwachsene ohne erkennbare Regel	Differenz Kinder vs. Erwachsene
Rauheit fein	0.2	-7.2	7.4
Rauheit mittel	-5.4	-13.6	8.2
Rauheit rau	-10.9	-19.3	8.4

Fragebogen

Beim expliziten Wissen bezüglich der Faktoren *Rauheit*, *Gewicht* und *Fläche*, mit dem Fragebogen erhoben, nannten alle ausser einem Erwachsenen zumindest die Rauheit als relevanten Faktor. Bei den Kindern benannte keines die Rauheit alleine als relevanten Faktor, dagegen 10% der Erwachsenen ($n = 4$). Neben der Rauheit gaben 10% der Kinder ($n = 4$) und

15% der Erwachsenen ($n = 6$) die Fläche als relevante Faktoren. Weiter gaben 17.5% der Kinder ($n = 7$) und 10% der Erwachsenen ($n = 4$) an, dass neben der Rauheit das Gewicht eine Rolle spiele. Die meisten Versuchspersonen (Kinder 72.5%, $n = 29$; Erwachsene 62.5%, $n = 25$) gaben jedoch an, dass beim kritischen Winkel alle drei Faktoren einen Einfluss hätten (Abbildung 7-29). Tabelle 11-7 bietet einen Überblick über die prozentuale Verteilung der Nennungen der relevanten Faktoren.

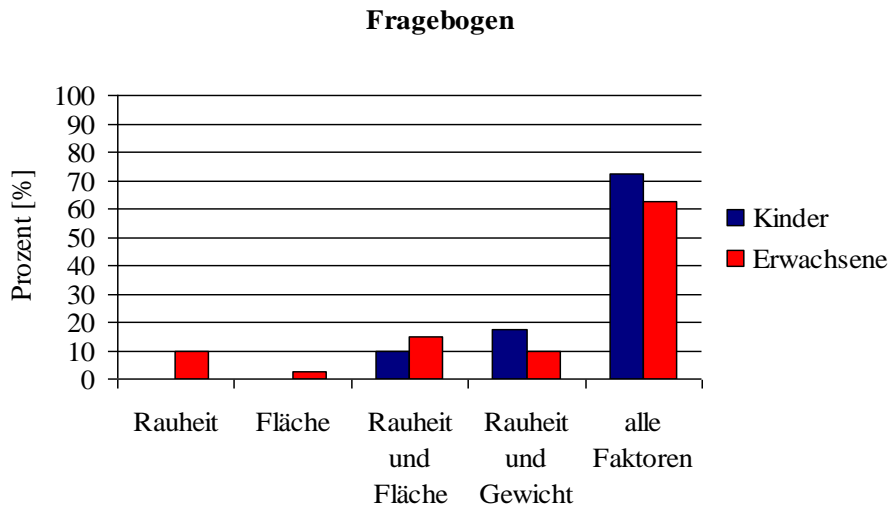


Abbildung 7-29 Im Fragebogen genannte "relevante" Faktoren im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel; Gruppe aus Experiment 2b

7.2.4 Diskussion

Aus den Analysen der Daten aus Experiment 2b geht hervor, dass auf impliziter Ebene bei der Winklereinstellung Unterschiede in den Altersgruppen vorliegen, ebenso Geschlechtsunterschiede innerhalb der Gruppen. Hinsichtlich der Qualität der Antworten und der Strategien unterscheiden sich die Gruppen, unabhängig des Geschlechts, nicht. Bei der Kindergruppe findet sich jedoch, dass die Mädchen in den Analysen eine additive Strategie verfolgen, um die Faktoren *Rauheit* und *Gewicht* zu integrieren². Die Daten der Kinder gegenüber denen der Erwachsenen näher an der physikalischen Norm, wenn es um das Einschätzen des kritischen Winkels geht und wenn neben der Rauheit das Gewicht variiert wird. Dennoch unterschätzten beide Gruppen die Rauheit, wobei der Unterschied mit

² Dieser Effekt kam aufgrund der Daten einer weiblichen Versuchsperson zustande. Rechnet man ohne diesen Datensatz, so zeigt sich kein Effekt mehr hinsichtlich des Gewichts $F(2, 36) = 2.472, p = .099, \eta^2 = .121$

zunehmender Rauheit zunahm. Im Durchschnitt stellten die weiblichen Versuchspersonen tiefere Winkel ein als die männlichen Versuchspersonen.

In der Einzelanalyse der Daten folgte die Mehrheit der Kinder (42.5%) keiner ersichtlichen Verknüpfungsregel, hingegen zentrierten 35% korrekt auf den Faktor Rauheit. Dem gegenüber stehen die Erwachsenen, die mehrheitlich korrekt auf die Rauheit zentrieren (45%), trotzdem folgen 25% der Erwachsenen keiner ersichtlichen Regel. Bei der Analyse derjenigen Versuchspersonen, die keiner bestimmten Regel folgten, weisen die gemittelten Daten wiederum auf eine korrekte Zentrierung auf die Rauheit hin.

Auf expliziter Ebene nannten 98.75% ($n = 79$) der Versuchspersonen mindestens die Rauheit als relevanten Faktor. Dennoch besteht gegenüber dem impliziten Wissen insofern eine Dissoziation, als die meisten Kinder (72.5%, $n = 29$) und Erwachsenen (62.5%, $n = 25$) im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel alle drei Faktoren als relevant sehen. Ein explizit korrektes Wissen dahingehend, dass nur der Faktor Rauheit, bzw. der Haftreibungskoeffizient als relevanter Faktor gelten kann, haben kein Kind und nur 10% der Erwachsenen ($n = 4$) gezeigt. In Experiment 2b konnten die Ergebnisse von 2a repliziert werden, ebenfalls konnte eine Wissensdissoziation zwischen implizitem und explizitem Wissen aufgezeigt werden.

Auf der impliziten Ebene zeigten die Gruppen eine normativ korrekte Handlung. Wurden die Versuchspersonen jedoch explizit nach den Faktoren, die beim kritischen Winkel von Relevanz seien, so wurde die Rauheit zwar als zwingender, jedoch nicht als einziger Faktor angesehen. Auf expliziter Ebene wurden im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel zusätzlich das Gewicht und die Fläche miteinbezogen und für relevant gehalten. Besonders auf expliziter Ebene erstaunt dieses Ergebnis, dennoch ist es nachvollziehbar.

Aus dem Alltag ist bekannt, dass sich etwas Schweres schlechter bewegen lässt als etwas Leichtes. Die in Bezug auf die Experimente von vielen Versuchspersonen geäußerten Überlegungen sind dementsprechend, dass die schweren Quader "mehr auf die Oberfläche drücken" und deshalb mehr haften bleiben würden.

Dass sich die beiden Altersgruppen auf impliziter Ebene nicht unterscheiden, kann mit dem Stufenmodell nach Piaget begründet werden, nämlich dass die untersuchten Kinder die formal-operationale Stufe erreicht haben und somit im Urteilen den Erwachsenen ähnlich sind. Unklar

bleibt, ob sich eine Entwicklungstendenz abzeichnet, also ob die Wissensdissoziationen zwischen impliziter und expliziter Ebene schon immer vorherrschen oder ob sich eine Veränderung im Verlauf des Alters abzeichnet. In den vorangegangenen Experimenten wurden Kinder untersucht, die nach Piagets Stufenmodell mehrheitlich in die formal-operationale Stufe eingeordnet werden können. Um mehr Erkenntnisse über das explizite und implizite Wissen zu gewinnen, werden in den nachfolgenden Experimenten jüngere Kinder untersucht.

7.3 Forschungsfrage Experiment 2c: Kritischer Winkel (Rauheit, Gewicht)

6-13 jährige Kinder, Erwachsene

Die aus den vorangegangenen Experimenten gewonnenen Daten ergaben in den beiden Altersgruppen Dissoziationen des expliziten und impliziten Wissens. Weiter gab es Unterschiede bezüglich der Altersgruppen und Geschlechter. Auch konnten Unterschiede in den von den Versuchspersonen genannten Strategien gefunden werden. Bei der Frage nach dem kritischen Winkel bei variiertter Rauheit und Fläche zeigten beide Altersgruppen eine additive Strategie, was bedeutet, dass die Versuchspersonen sowohl die Rauheit wie auch die Grösse der Auflagefläche berücksichtigten. Diese Strategie ist physikalisch inkorrekt, dennoch nachvollziehbar. Bei der Variation des Gewichts zeigt sich auf impliziter Ebene dieses Misskonzept nicht. Beide Altersgruppen zentrierten physikalisch korrekt auf den Faktor Rauheit. Dieses Ergebnis ist auch in den Datenanalysen nach Geschlecht erkennbar.

Bei den vorangegangenen Experimenten wurde die Altersgruppe auf "Kinder" und "Erwachsene" beschränkt, womit sich kein Entwicklungstrend feststellen liess. Falls ein altersabhängiger Entwicklungstrend bestehen sollte, und um die gewonnenen Daten zu überprüfen, wurde in Experiment 2c derselbe Versuch mit mehreren Altersgruppen durchgeführt: Die Kinder wurden in 4 Gruppen unterteilt (6-7-Jährige, 8-9-Jährige, 10-11-Jährige, 12-13-Jährige), daneben blieb die Erwachsenengruppe bestehen. Allen Versuchspersonen wurde im Anschluss wiederum der Fragebogen vorgelegt.

7.3.1 Hypothese Experiment 2c

In Experiment 2c wird angenommen, dass die Antwortmuster einen Entwicklungstrend aufzeigen, bei dem sich die jüngeren Kindern von den älteren Kindern und den Erwachsenen deutlich unterscheiden. Zudem wird erwartet, dass auch bei den jüngeren Kindern eine Wissensdissoziation hinsichtlich der Antwortqualität auftritt.

7.3.2 Methode Experiment 2c

Versuchspersonen

Es wurden 200 Datensätze, bestehend aus vier Kinder- und einer Erwachsenengruppe zu je 40 Versuchspersonen (männlich = 20, weiblich = 20), analysiert. Die Kindergruppe gliederte sich

in 4 Alterskategorien: 6-7-jährige (Altersdurchschnitt = 6;4, Range = 6;0-7;11), 8-9-jährige (Altersdurchschnitt = 8;4, Range = 7;0-9;11), 10-11-jährige (Altersdurchschnitt = 9;0-12;11, Range = 10;5), 12-13-jährige (Altersdurchschnitt = 12;5, Range = 11;0-13;11). Die Daten der Erwachsenenengruppe (Altersdurchschnitt = 24;4, Range = 19;0-37;11) waren bei der Analyse diejenigen aus Experiment 2b. Alle Versuchspersonen nahmen freiwillig am Experiment teil. Die Kinder mussten die Erlaubnis ihres Erziehungsberechtigten vorweisen.

Versuchsmaterial

Das Versuchsmaterial war identisch mit dem aus Experiment 2a und 2b.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entsprach demjenigen aus Experiment 2a und 2b.

7.3.3 Resultate Experiment 2c

Abbildung 7-30 zeigt das normative Muster, das bei den entsprechenden Rauheiten entstehen würde. Die verwendeten Rauheiten [fein (Folie), mittelrau (CAMI = 240), rau (CAMI = 60)] ergeben ein gleichmässiges, vom Gewicht unabhängiges Bild in horizontal verlaufenden, nicht ansteigenden Graphen. Die physikalisch korrekten kritischen Winkel sind bei den verwendeten Körnungen und den daraus entstehenden Haftreibungskoeffizienten 36 Grad (feine Körnung), 29 Grad (mittlere Rauheit) und 21 Grad (grobe Rauheit).

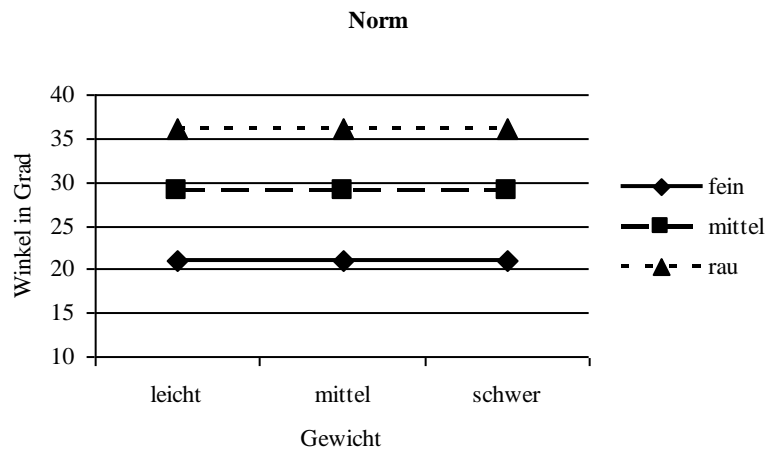


Abbildung 7-30 Darstellung des idealen Musters der Winkel in Abhängigkeit des Gewichts und der Rauheit der Quader

Gruppenanalysen

Abbildung 7-31 bis Abbildung 7-35 geben die Gruppenmittelwerte der eingestellten Winkel der vier Kindergruppen und der Erwachsenenengruppe in Experiment 2c wieder. Die statistischen Analysen (Varianzanalysen) zeigen bei allen Gruppen signifikante Haupteffekte des Faktors Rauheit und keine signifikanten Effekte des Faktors Gewicht bei den 6-7-jährigen, 8-9-jährigen und den Erwachsenen. Die 10-11-jährigen und 12-13-jährigen zeigen auch signifikante Effekte des Gewichts. Es gibt keine signifikanten Effekte der Interaktion der beiden Faktoren.

Es wurde eine Gesamt-ANOVA gerechnet, mit den Innersubjekt-Faktoren *Rauheit* (3) und *Gewicht* (3) und dem Zwischensubjekt-Faktor *Altersgruppe* (5) und *Geschlecht* (2). Dabei zeigen sich signifikante Alters- ($F(4, 190) = 7.667, p < .001, \eta^2 = .139$), aber keine Geschlechtereffekte ($F(1, 190) = 3.227, p = .074, \eta^2 = .017$).

Bei der Analyse der Gruppendaten ergeben sich bei den 6-7-jährigen signifikante Haupteffekte des Faktors *Rauheit* ($F(2, 76) = 25.19, p < .001, \eta^2 = .399$), aber nicht des Faktors *Gewicht* ($F(2, 76) = 1.512, p = .227, \eta^2 = .038$) und ebenfalls nicht in der Interaktion der beiden Faktoren ($F(4, 152) = 1.907, p = .112, \eta^2 = .048$). Bei den 8-9-jährigen zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt des Faktors *Rauheit* ($F(2, 76) = 23.064, p < .001, \eta^2 = .378$), aber nicht des Faktors *Gewicht* ($F(2, 76) = 3.731, p = .028, \eta^2 = .089$) oder deren Interaktion ($F(4, 152) = 2.321, p = .059, \eta^2 = .058$). Bei den 10-11-jährigen ist ein signifikanter Effekt der *Rauheit* ($F(2, 76) = 60.645, p < .001, \eta^2 = .615$) und ebenfalls des *Gewichts* ($F(2, 76) = 7.311, p < .01, \eta^2 = .161$) erkennbar, aber nicht deren Interaktion ($F(4, 152) = .957, p = .433, \eta^2 = .025$). Das gleiche ergibt sich in der Datenanalysen der 12-13-jährigen, bei denen signifikante Haupteffekte der *Rauheit* ($F(2, 76) = 47.149, p < .001, \eta^2 = .554$) und des *Gewichts* ($F(2, 76) = 5.615, p < .01, \eta^2 = .129$), aber nicht deren Interaktion ($F(4, 152) = 2.382, p = .54, \eta^2 = .059$) zu sehen sind. Bei den Erwachsenen zeigt sich wiederum ein Haupteffekt der *Rauheit* ($F(2, 76) = 101.499, p < .001, \eta^2 = .728$), nicht aber des *Gewichts* ($F(2, 76) = .163, p = .85, \eta^2 = .004$) oder deren Interaktion ($F(4, 152) = 1.925, p = .109, \eta^2 = .048$).

Bei den 10-11-jährigen Kindern zeigt sich zusätzlich ein Effekt hinsichtlich der Messwiederholung ($F(2, 38) = 9.669, p < .01, \eta^2 = .203$), aber nicht des Geschlechts innerhalb der Gruppe ($F(2, 38) = .197, p = .66, \eta^2 = .005$) (s. Abbildung 7-36). Mit zunehmender Rauheit erkennt man eine leichte Zunahme des Unterschieds. Dieser Unterschied von 2.4 Grad kann aber trotz statistischer Signifikanz als klein bezeichnet werden.

Es zeigt sich, dass die 6-7-jährigen, 8-9-jährigen und die Erwachsenen korrekt auf die Rauheit zentrierten, die 10-11-jährigen und 12-13-jährigen hingegen einer additiven Strategie nachgingen.

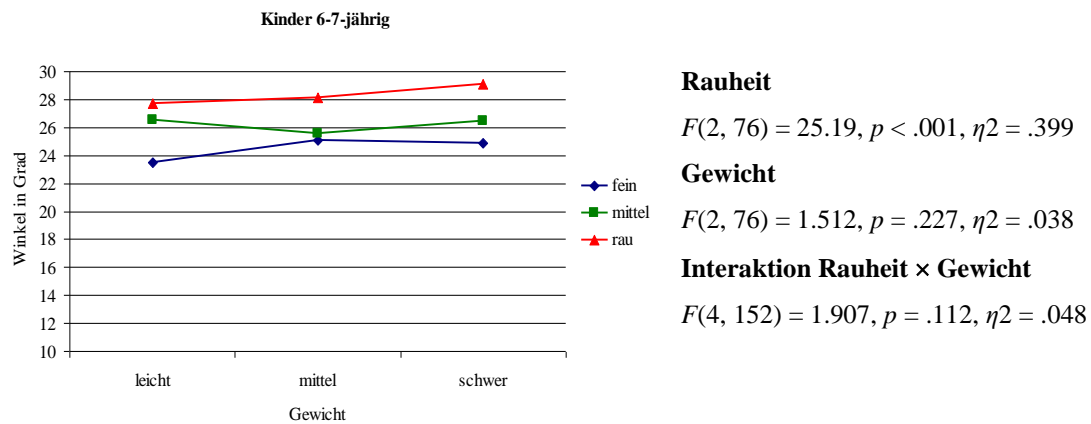


Abbildung 7-31 Mittelwerte der Winkeleinstellungen der 6-/7-Jährigen, Experiment 2c

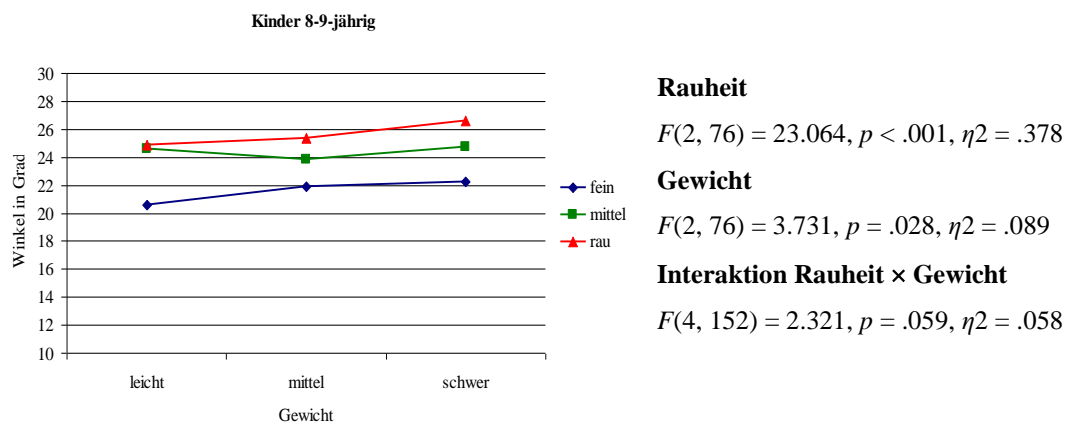


Abbildung 7-32 Mittelwerte der Winkeleinstellungen der 8-/9-Jährigen, Experiment 2c

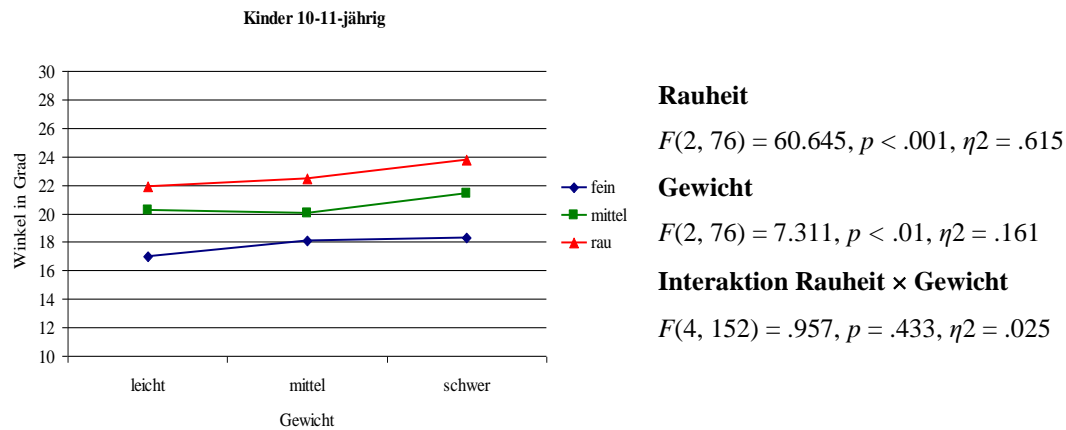


Abbildung 7-33 Mittelwerte der Winkeleinstellungen der 10-/11-Jährigen, Experiment 2c

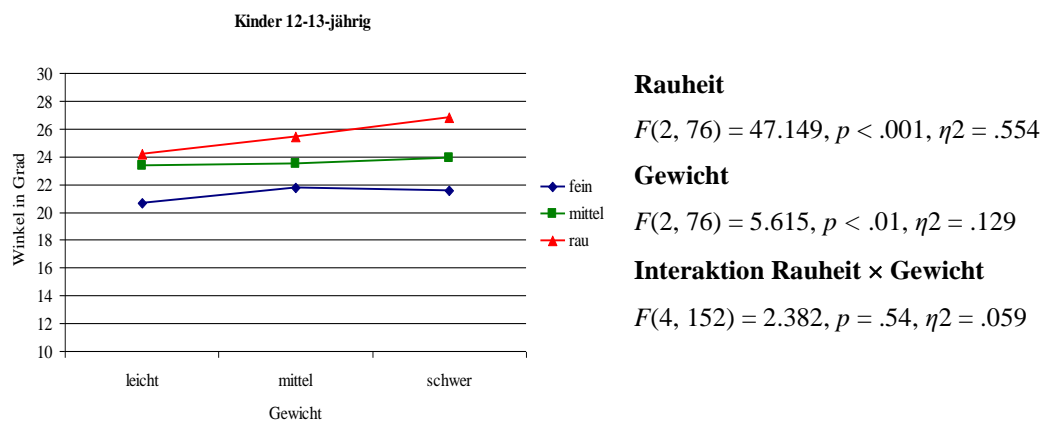


Abbildung 7-34 Mittelwerte der Winkeleinstellungen der 12-/13-Jährigen, Experiment 2c

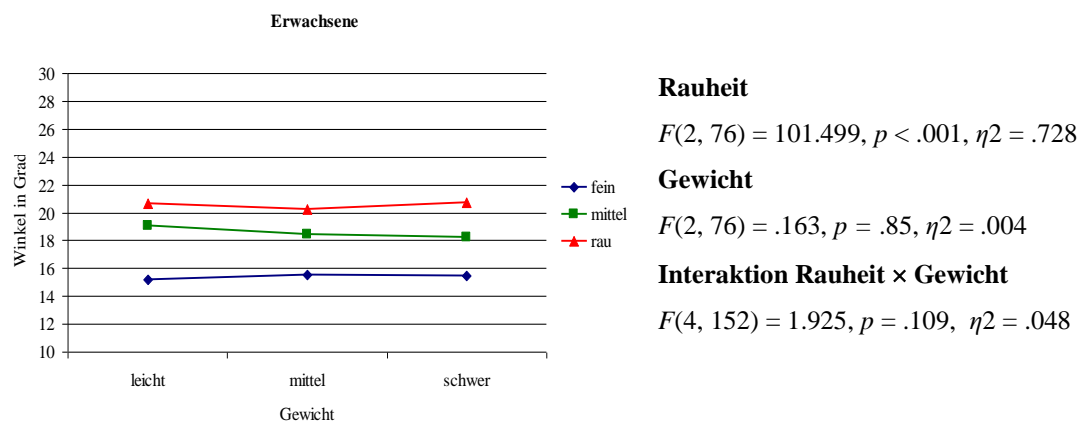


Abbildung 7-35 Mittelwerte der Winkeleinstellungen der Erwachsenen, Experiment 2c

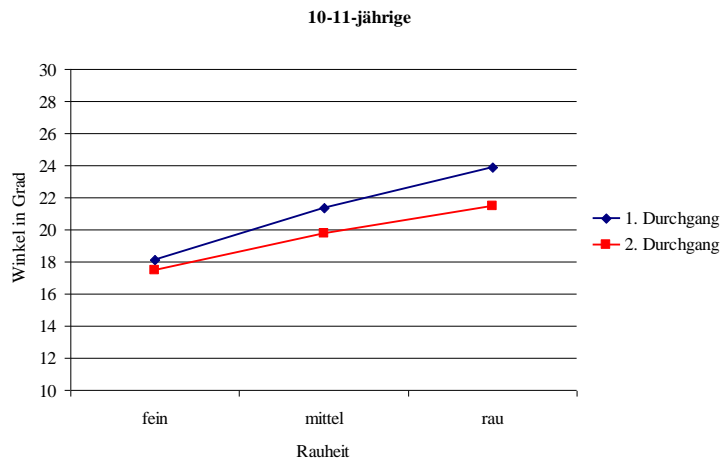


Abbildung 7-36 Signifikanter Unterschied in der Messwiederholung der 10-11-jährigen

In den Gruppen-ANOVAs findet sich bei den 6-7-jährigen ($F(1, 38) = 5.526$, $p < .05$, $\eta^2 = .127$) und den Erwachsenen ($F(1, 76) = 2.995$, $p < .01$, $\eta^2 = .236$) ein Geschlechtereffekt bezüglich der Grösse der Winkel, nicht jedoch bei den anderen Gruppen (alle $p > .09$).

Abbildung 7-37 und Abbildung 7-38 zeigen die durchschnittlichen Winkeleinstellungen der Gruppen, gemittelt über das Gewicht. Es ist ein Alterstrend erkennbar, wonach die jüngsten Kinder grösste Winkel einstellten, und die Winkeleinstellungen mit zunehmendem Alter einem Alterstrend folgten. Dabei fällt auf, dass die 12-13-jährigen Kinder fast gleiche Winkel einstellten ($MW = 23.5$ Grad, $SD = 8.8$ Grad) wie die 8-9-jährigen Kinder ($MW = 23.9$ Grad, $SD = 8.3$ Grad). Die 6-7-jährigen Kinder stellten mit einem durchschnittlichen Winkel von 26.3 Grad ($SD = 9.7$ Grad) am steilsten und die Erwachsenen mit einem durchschnittlichen Winkel von 18.2 Grad ($SD = 7.0$ Grad) am niedrigsten ein. Die 10-11-jährigen Kinder stellten mit einem durchschnittlichen Winkel von 20.3 Grad ($SD = 6.0$ Grad) am niedrigsten im Vergleich mit den Kindergruppen ein.

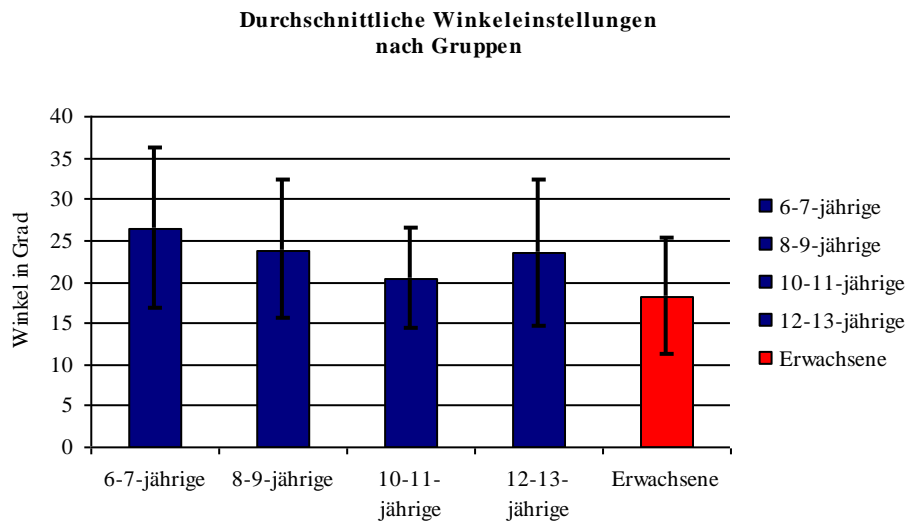


Abbildung 7-37 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Gruppen, Experiment 2c

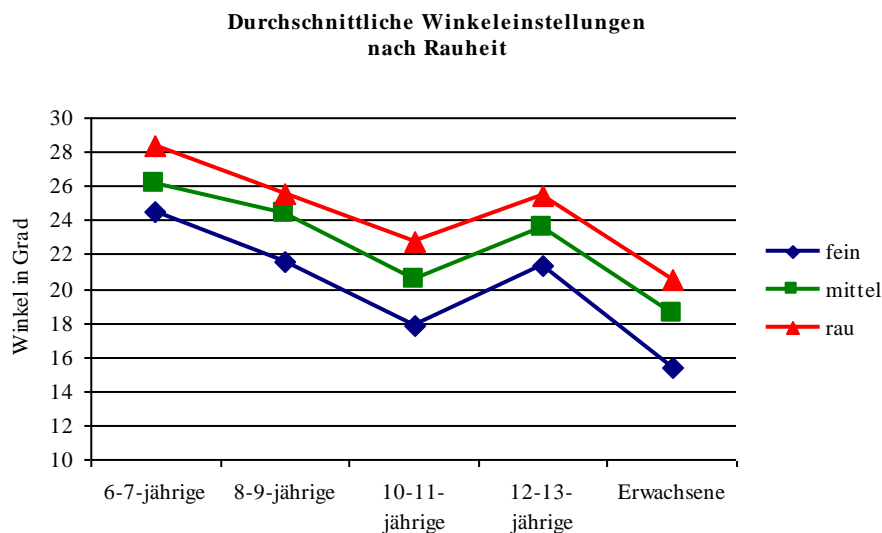


Abbildung 7-38 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Gruppen nach Rauheiten, Experiment 2c

Auch wenn kein statistischer Unterschied der Geschlechter vorliegt, erkennt man dennoch einen interessanten Trend. Die Aufgliederung der durchschnittlichen Winkel nach Geschlecht (Abbildung 7-39) zeigt, dass nur bei den jüngsten Kindern (6-7-jährigen) die Mädchen grössere Winkel ($MW = 29.5$ Grad, $SD = 11.1$ Grad) im Vergleich zu den Knaben ($MW = 23.1$ Grad, $SD = 6.8$ Grad) einstellten. Die 8-9-jährigen Knaben wählten einen durchschnittlichen Winkel von

24.9 Grad ($SD = 9.0$ Grad), die Mädchen derselben Gruppe lagen dabei ein wenig tiefer mit einem durchschnittlichen Winkel von 22.8 Grad ($SD = 7.5$ Grad). Bei den 10-11-jährigen stellten die Knaben ($MW = 21.6$ Grad, $SD = 6.2$ Grad) ebenfalls einen im Vergleich zu den Mädchen ($MW = 19.1$ Grad, $SD = 5.7$ Grad) grösseren Winkel ein. Die Knaben der 12-13-jährigen stellten einen durchschnittlichen Winkel von 25.7 Grad ($SD = 9.7$ Grad) ein, während die 12-13-jährigen Mädchen einen Durchschnittswinkel von 21.2 Grad ($SD = 7.4$ Grad) wählten. Bei den Erwachsenen stellten die Männer mit 21.4 Grad ($SD = 6.4$ Grad) im Vergleich zu den Frauen ($MW = 14.9$ Grad, $SD = 7.2$ Grad) ebenfalls einen steileren Winkel ein.

Es fällt auf, dass die männlichen Versuchspersonen ähnliche Winkel wählten und in den Gruppen der weiblichen Versuchspersonen ein Alterstrend zu erkennen ist. Die Frauen unterschätzten die im Vergleich zu den 6-7-jährigen Mädchen den kritischen Winkel um das Doppelte.

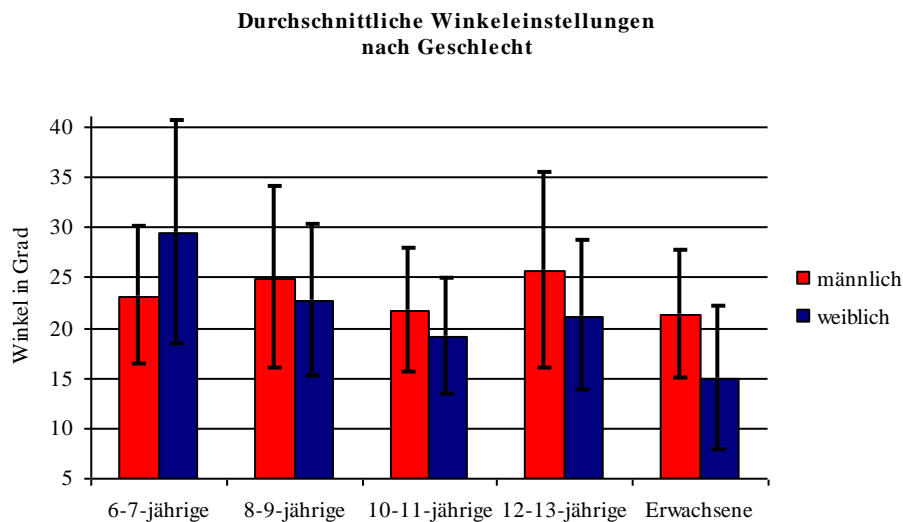


Abbildung 7-39 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Gruppen und Geschlechter

Insgesamt nahmen mit zunehmender Rauheit auch die Abweichungen von der Norm zu (vgl. Abbildung 7-40). Die feinste Körnung wurde von allen Kindergruppen am korrektesten eingeschätzt.

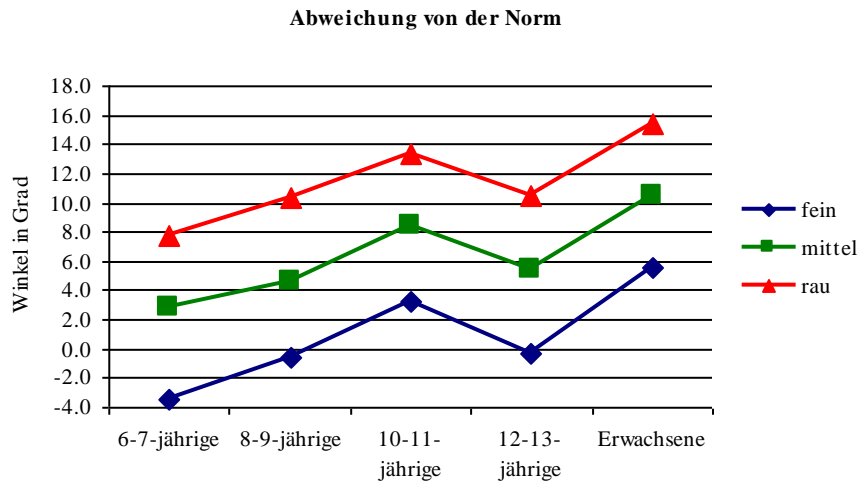


Abbildung 7-40 Abweichungen in Grad von der physikalischen Norm pro Gruppe und Rauheit

Tabelle 7-3 gibt einen Überblick über die Abweichungen von den normativen Werten in Grad. Die normativ korrekten Winkel für die vorgegebenen Rauheiten liegen bei 21 Grad (fein), 29 Grad (mittlere Rauheit) und 36 Grad (rau).

Tabelle 7-3 Abweichungen von der Norm in Grad

	6-7-jährige	8-9-jährige	10-11-jährige	12-13-jährige	Erwachsene
fein	3.5	0.6	-3.2	0.3	-5.6
mittel	-2.8	-4.6	-8.5	-5.4	-10.4
rau	-7.7	-10.4	-13.3	-10.5	-15.5

Einzelanalysen

In den Einzelanalysen (Abbildung 7-41) zeigen sich die Verteilungen der intuitiven Regeln innerhalb der Altersgruppen. Die jüngsten Kindern haben mit 32.5% ($n = 13$) korrekt auf die Rauheit zentriert, ebenso 27.5% der 8-9-jährigen ($n = 11$), 30% der 10-11-jährigen ($n = 18$), 20% der 12-13-jährigen ($n = 8$) und 45% der Erwachsenen ($n = 18$). Auf den Faktor Gewicht haben 12.5% der 6-7-jährigen ($n = 5$), 15% der 8-9-jährigen ($n = 6$), 5% der 10-11-jährigen ($n = 3$), 10% der 12-13-jährigen ($n = 4$) und 5% der Erwachsenen ($n = 2$) zentriert. Einer additiven

Regel sind 2.5% der 6-7-jährigen ($n = 1$), 12.5% der 8-9-jährigen ($n = 5$), 8.3% der 10-11-jährigen ($n = 5$), 12.5% der 12-13-jährigen ($n = 5$) und 22.5% der Erwachsenen ($n = 9$) gefolgt. Kein Kind der 6-7-jährigen hat eine multiplikative Strategie angewendet, dafür 5% der 8-9-jährigen ($n = 2$), 3.3% der 10-11-jährigen ($n = 2$), 2.5% der 12-13-jährigen ($n = 1$) und ebenfalls 2.5% der Erwachsenen ($n = 1$).

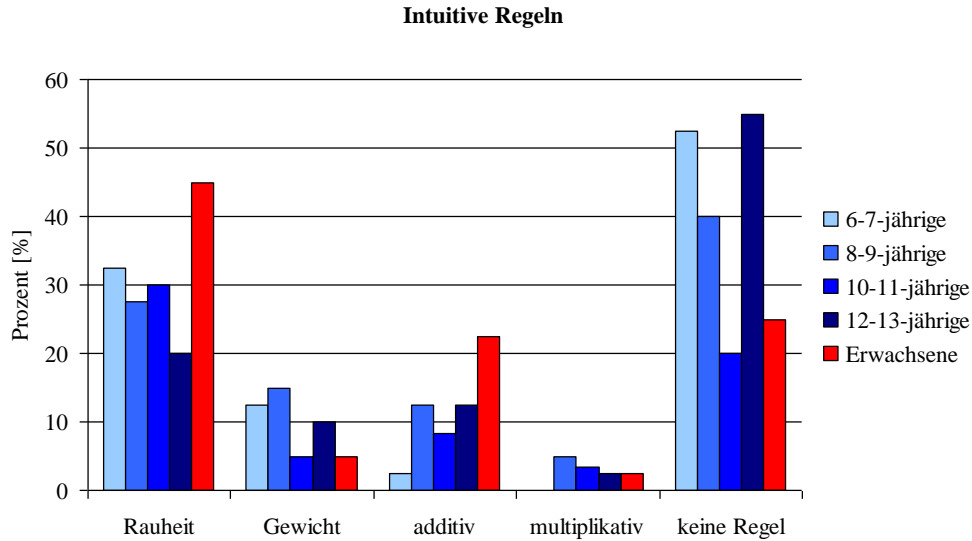
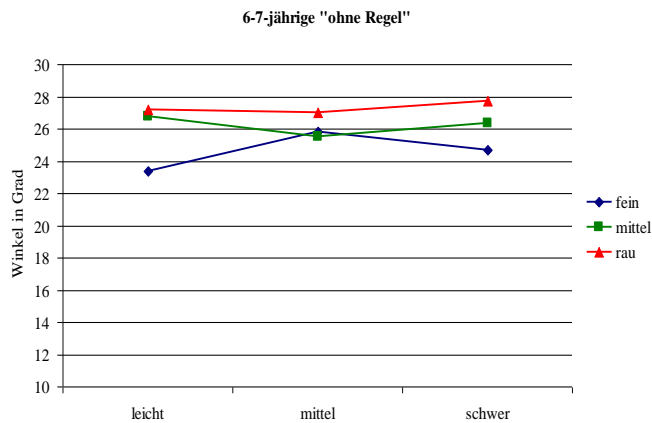


Abbildung 7-41 Verteilung der intuitiven Regeln

Bei vielen Versuchspersonen konnte in den Einzelanalysen keine ersichtliche Strategie festgestellt werden. Über die Hälfte der 6-7-jährigen (52.5%, $n = 21$) und der 12-13-jährigen (55%, $n = 22$), 40% der 8-9-jährigen ($n = 16$), 20% der 10-11-jährigen ($n = 12$) und 25% der Erwachsenen ($n = 10$) folgten keiner bestimmten Regel. Tabelle 11-8 im Anhang bietet einen Überblick über die prozentualen Anteile der verfolgten Strategien in Experiment 2c.

Die gemittelten Winkeleinstellungen der Gruppen, die ohne erkennbare Regel voringen, lassen in der graphischen Darstellung erkennen, dass sowohl die Kindergruppen wie auch die Erwachsenen auf den Faktor Rauheit zentrierten (Abbildung 7-42 und Abbildung 7-46).

**Rauheit**

$$F(2, 38) = 14.488, p < .001, \eta^2 = .433$$

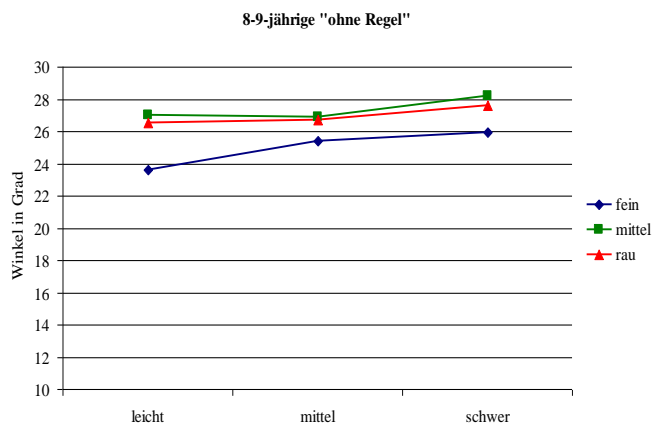
Gewicht

$$F(2, 38) = .408, p = .668, \eta^2 = .021$$

Interaktion Rauheit \times Gewicht

$$F(4, 76) = 2.01, p = .102, \eta^2 = .096$$

Abbildung 7-42 Gemittelte Winkeleinstellungen der 6-7-jährigen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

**Rauheit**

$$F(2, 28) = 8.302, p < .01, \eta^2 = .372$$

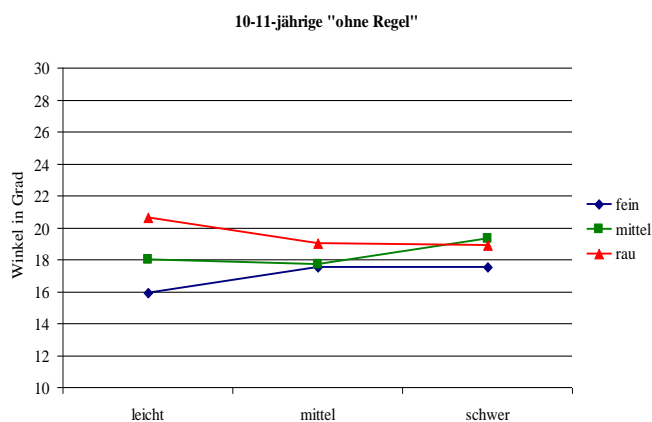
Gewicht

$$F(2, 28) = 2.545, p = .097, \eta^2 = .154$$

Interaktion Rauheit \times Gewicht

$$F(4, 56) = 6.43, p = .634, \eta^2 = .044$$

Abbildung 7-43 Gemittelte Winkeleinstellungen der 8-9-jährigen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

**Rauheit**

$$F(2, 20) = 12.486, p < .001, \eta^2 = .555$$

Gewicht

$$F(2, 20) = 7.02, p = .007, \eta^2 = .066$$

Interaktion Rauheit \times Gewicht

$$F(4, 40) = 1.237, p = .311, \eta^2 = .11$$

Abbildung 7-44 Gemittelte Winkeleinstellungen der 10-11-jährigen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

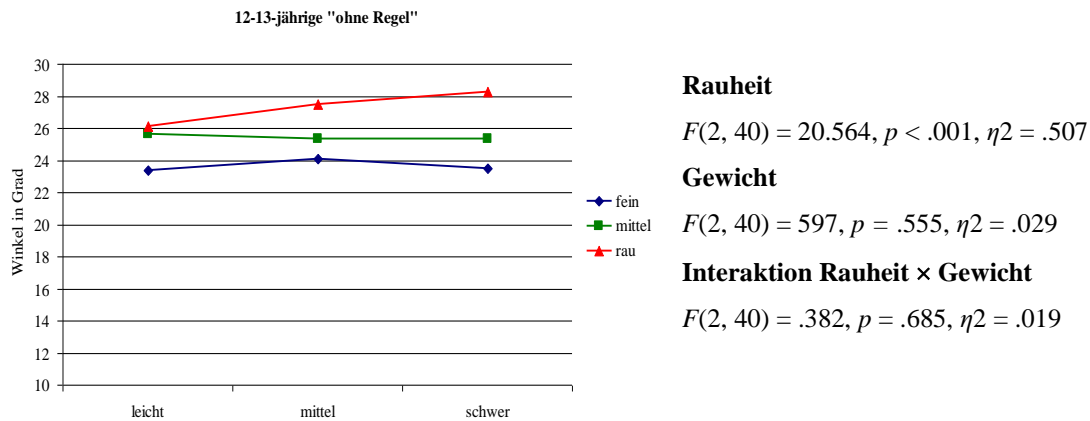


Abbildung 7-45 Gemittelte Winkeleinstellungen der 12-13-jährigen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

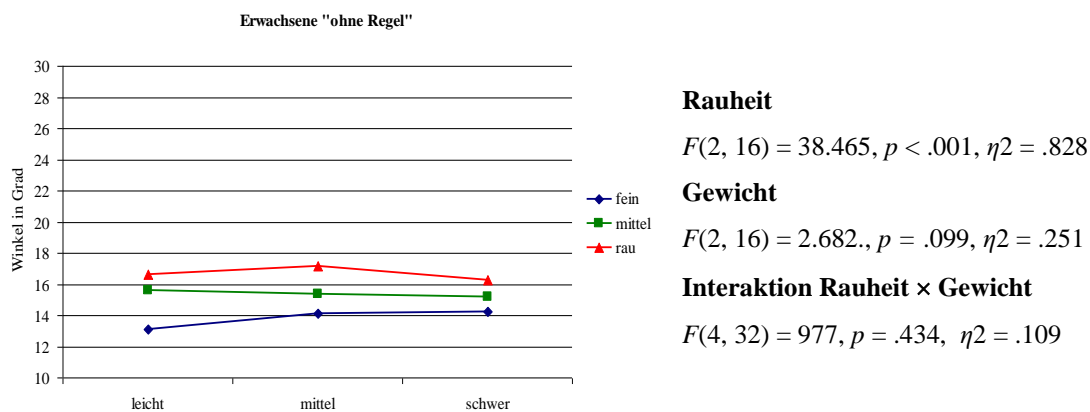


Abbildung 7-46 Gemittelte Winkeleinstellungen der Erwachsenen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

Abbildung 7-47 lässt erkennen, dass die jüngsten Kinder, die in der Einzelanalyse keiner erkennbaren Regel nachgegangen sind, zusammen mit den 8-9-jährigen und 11-12-jährigen ähnlich steile Winkel einstellten. Die 10-11-jährigen stellten vergleichbar tiefere Winkel und die Erwachsenen stellten deutlich die niedrigsten Winkel ein. Aus den gemittelten Werten der 8-9-jährigen ist zudem ersichtlich, dass sie mit der mittleren Rauheit steilere Winkel einstellten als mit der groben Rauheit.

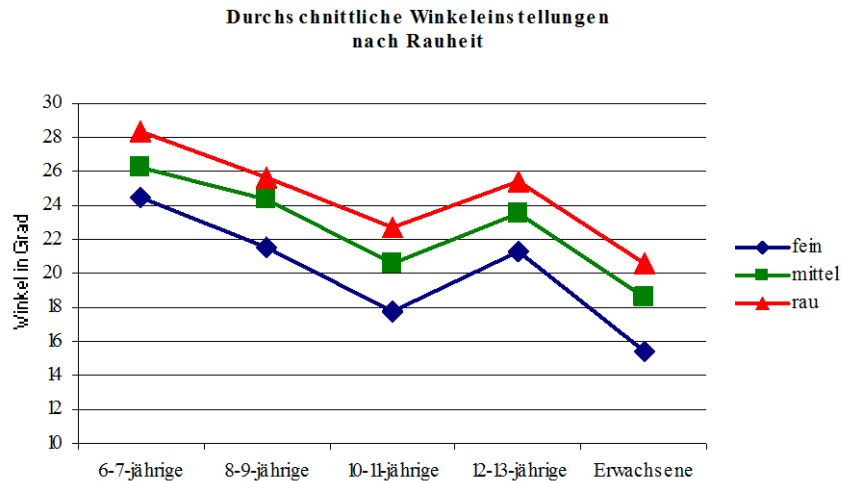


Abbildung 7-47 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der Gruppen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

In der Datenanalyse nach Geschlecht kann nur bei den 10-11-jährigen ein Geschlechtereffekt festgestellt werden ($F(1, 10) = 6.318, p < .05, \eta^2 = .387$), wobei die Knaben im Vergleich zu den Mädchen steilere Winkel wählten. Tendenziell stellten die männlichen Versuchspersonen steilere Winkel ein als die weiblichen Versuchspersonen, jedoch ist dies nicht der Fall bei den jüngsten Kindern (vgl. Abbildung 7-48 bis Abbildung 7-52).

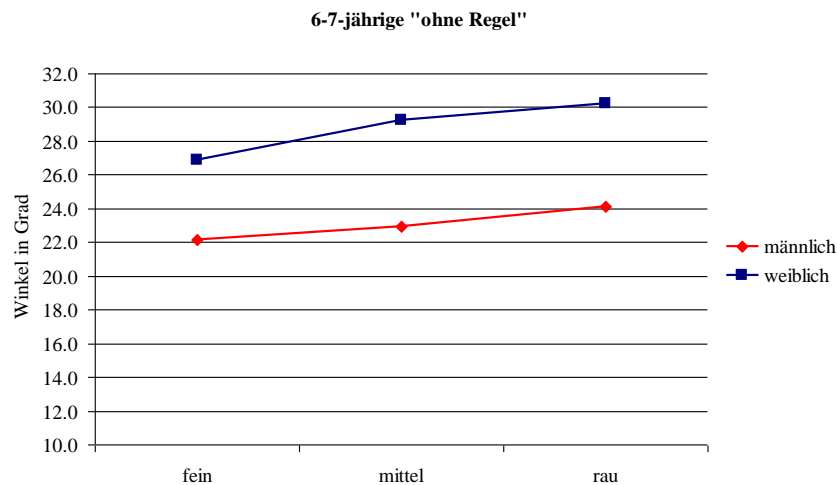


Abbildung 7-48 Gemittelte Winkeleinstellungen der 6-7-jährigen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

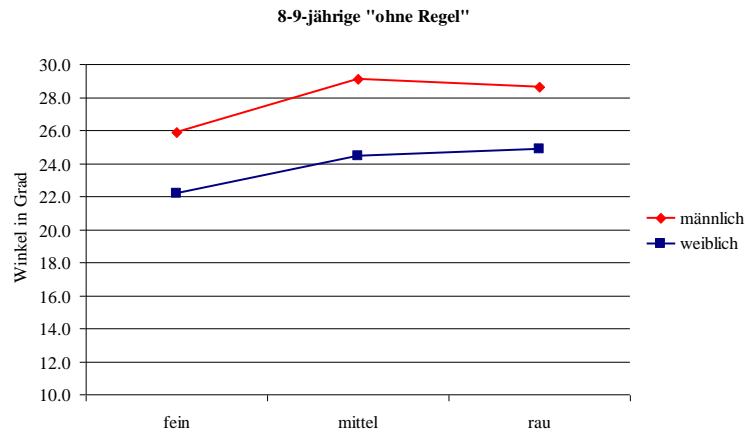


Abbildung 7-49 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der 8-9-jährigen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

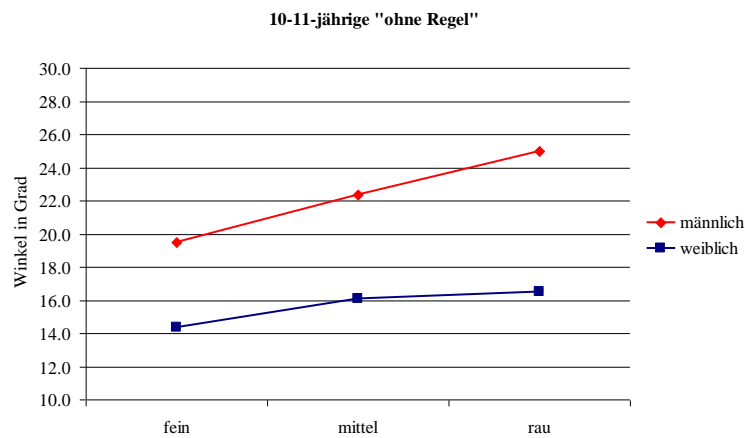


Abbildung 7-50 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der 10-11-jährigen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

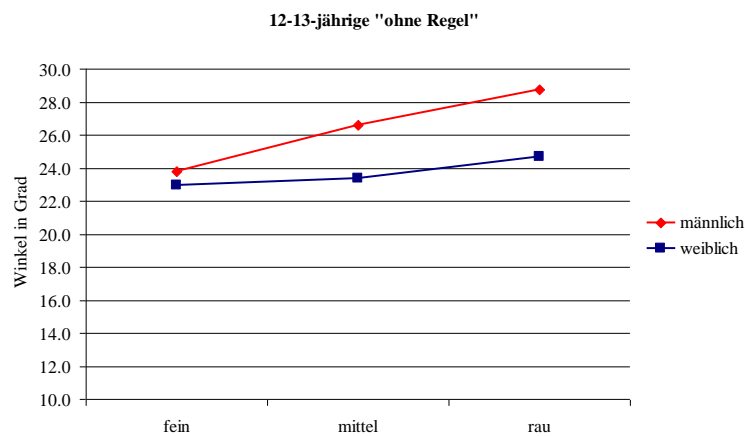


Abbildung 7-51 Durchschnittliche Winkeleinstellungen der 12-13-jährigen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

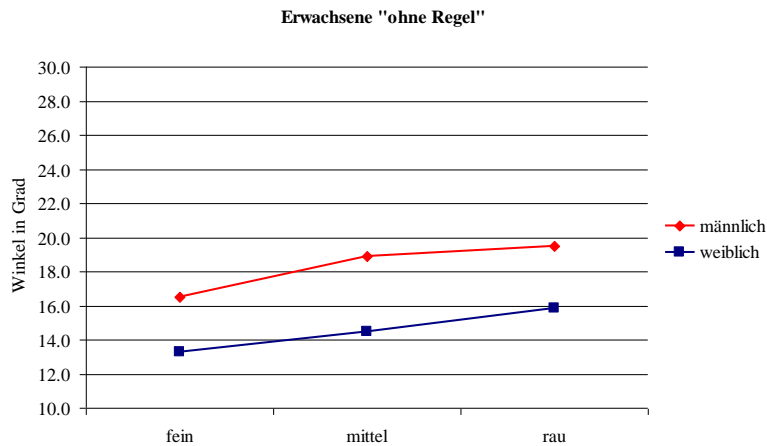


Abbildung 7-52 Durchschnittliche Winkleinstellungen der Erwachsenen, bei denen keine eindeutige Regel zu erkennen ist

Fragebogen

In den nach dem Experiment dargebotenen Fragebogen gaben die meisten Versuchspersonen aller Altersgruppen an, dass alle drei Faktoren (Rauheit, Fläche, Gewicht) im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel relevant wären (Abbildung 7-53). Dies meinten 55% der 6-7-jährigen ($n = 22$) und ebenfalls 55% der 8-9-jährigen ($n = 22$) sowie 80% der 10-11-jährigen ($n = 32$), 72.5% der 12-13-jährigen ($n = 29$) und 62.5% der Erwachsenen ($n = 25$). Dass der Faktor Rauheit, und der damit verbundene Haftreibungskoeffizient, alleine relevant sei, meinten nur 2.5% der 6-7-jährigen ($n = 1$) und 10-11-jährigen ($n = 1$) sowie 10% der Erwachsenen ($n = 4$). Eine Kombination von zumindest der Rauheit plus eines anderen Faktors war häufig. Dass neben der Rauheit die Fläche relevant sei, meinten 10% der 6-7-jährigen ($n = 4$), 5% der 8-9-jährigen ($n = 2$), 2.5% der 10-11-jährigen ($n = 1$), 10% der 12-13-jährigen ($n = 4$) und 15% der Erwachsenen ($n = 6$). Die andere Kombination, Rauheit und Gewicht, wurde von 25% der 6-7-jährigen ($n = 10$), 35% der 8-9-jährigen, 15% der 10-11-jährigen ($n = 6$), 17.5% der 12-13-jährigen ($n = 7$) sowie 10% der Erwachsenen ($n = 4$) genannt. Andere Kombinationen von vermeintlich relevanten Faktoren wurden nur vereinzelt genannt, wie bei den 6-7-jährigen ($n = 1$, 2.5%) das Gewicht als alleiniger relevanter Faktor, "Fläche und Gewicht" ($n = 1$, 2.5%) und "kein Faktor" ($n = 1$, 2.5%). Bei den 8-9-jährigen nannten 5% ($n = 2$) die Kombination "Fläche und Gewicht" als alleinig relevant, bei den Erwachsenen gaben 2.5% ($n = 1$) an, dass die "Fläche" der einzig relevanter Faktor sei. Tabelle 11-9 im Anhang bietet einen Überblick über die prozentualen Nennungen der relevanten Faktoren.

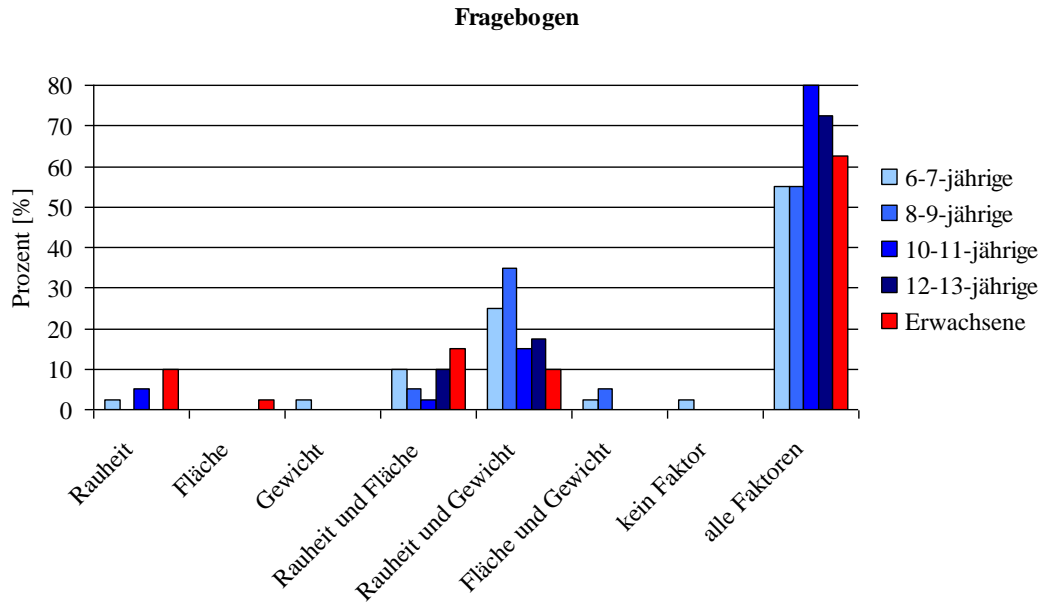


Abbildung 7-53 Im Fragebogen genannte relevante Faktoren im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel

7.3.4 Diskussion

Wie aus den Resultaten ersichtlich ist, zentrierten die jüngsten und zweitjüngsten Kinder sowie die Erwachsenen in den Gruppenanalysen korrekt auf die Rauheit, während die 10-11-jährigen und 12-13-jährigen Kinder eine additive Regel anwendeten. Die durchschnittlich eingestellten Winkel nehmen im Altersverlauf ab, wobei die 12-13-jährigen Kinder vergleichbare Winkel einstellten wie die 8-9-Jährigen. Die 6-7-jährigen, 8-9-jährigen und die 12-13-jährigen Kinder überschätzten den kritischen Winkel bei der feinsten Rauheit leicht, während sonst alle anderen Winkel im Vergleich zu den physikalisch normativen Werten unterschätzt wurden. Diese Abweichungen sind jedoch als gering zu werten. Ebenso ist der durchschnittliche Winkel der feinsten Rauheit bei den 10-11-jährigen nur geringfügig unterschätzt worden. Diese Abweichungen mit der feinsten Rauheit kann vernachlässigt werden, und es ergibt sich somit, dass alle Kindergruppen die feinste Rauheit gemäss den normativen Werten eingeschätzt haben.

Das Geschlecht spielt in den Gruppenanalysen keine statistisch relevante Rolle, jedoch zeigt sich bei der Aufteilung nach den Geschlechtern, dass die männlichen Versuchspersonen steilere Winkel einschätzten als die weiblichen Versuchspersonen. Nur die Mädchen bei den 6-7-

jährigen Kindern stellten im Vergleich zu den Knaben derselben Altersgruppe steilere Winkel ein.

Aus den Resultaten der Einzelanalyse wird deutlich, dass die meisten Versuchspersonen zwar korrekt auf die Rauheit zentriert haben. Besonders ausgeprägt ist dies bei den Erwachsenen. Dennoch können die Strategien vieler Versuchspersonen keiner klaren Regel zugeordnet werden. Deshalb wurden die Daten derjenigen Versuchspersonen gemittelt, die keiner erkennbaren Regel folgten, wobei sich zeigte, dass dabei alle Gruppen korrekt auf den Faktor *Rauheit* zentriert haben. Dabei entsprachen die durchschnittlichen Winkleinstellungen denen der Gruppenanalysen, wobei wiederum die männlichen Versuchspersonen, ausser bei den 6-7-jährigen, steilere Winkel wählten. Im Vergleich dazu unterscheidet sich das explizite Wissen im Vergleich zum impliziten Wissen dahingehend, dass die meisten Versuchspersonen angaben, dass alle Faktoren (Rauheit, Fläche, Gewicht) einen Einfluss auf den kritischen Winkel hätten.

In Experiment 2c wurde die Kindergruppe um jüngere Versuchspersonen erweitert, wobei ein sich deutlich abzeichnender Alterstrend erwartet wurde. Zudem wurde eine Wissensdissoziation zwischen explizitem und implizitem Wissen angenommen. Auf impliziter Ebene kann hinsichtlich der Steilheit der eingestellten Winkel ein Alterstrend festgestellt werden, wobei die Grösse der Winkel mit zunehmendem Alter abnahmen. Bei den verfolgten Strategien zeigte sich, dass die Versuchspersonen mehrheitlich normativ korrekt vorgingen, ebenso gingen diejenigen Versuchspersonen der normativ korrekten Regel nach, bei denen keine ersichtliche Regel festgestellt werden konnte.

Im Vergleich zum intuitiven Wissen kann auf expliziter Ebene eine Wissensdissoziation festgestellt werden. Diese Wissensdissoziation kann also auch bei jüngeren Kindern festgestellt werden, wobei ihre expliziten Urteile den normativen Werten am nächsten kommen. Als Ursache der inkorrekten expliziten Angaben können die alltäglichen Erfahrungen als Erfahrungsschatz herangezogen werden. So wurde auch bei den jüngeren Kindern häufig genannt, dass etwas "Schweres" weniger gut rutscht, womit der Faktor Gewicht in das Urteil einfließt (vgl. 4.3.4).

In den bisherigen Experimenten wurde als abhängige Variable auf den einzustellenden Winkel eingegangen. Dabei wurden die Faktoren Fläche und Gewicht systematisch untersucht und

festgestellt, dass auf allen Altersstufen eine Dissoziation zwischen implizitem und explizitem Wissen vorherrscht. Dabei wurde die Rauheit als Untersuchungsfaktor wenig beachtet. Im Zusammenhang mit dem kritischen Winkel ist die Steilheit eines Hanges oder einer schiefen Ebene natürlich ein wesentlicher Faktor. Jedoch blieb bislang die Frage offen, wie die Wahrnehmung der Rauheit bei den Versuchspersonen ist, weshalb im folgenden Experiment die Rauheit weiter untersucht werden soll.

8 Experiment 3

In den vorangegangenen Experimenten wurde mit verschiedenen Antwortformaten nach dem kritischen Winkel gefragt, wobei die unabhängigen Variablen *Gewicht*, *Rauheit* und *Grösse der Auflagefläche* systematisch variiert wurden. Wie in Kapitel 4.3.4 erläutert, wird der kritische Winkel physikalisch vom Haftreibungskoeffizienten μ bestimmt. Sowohl das Gewicht wie auch die Grösse der Auflagefläche eines Objektes sind für den kritischen Winkel irrelevant. Wie durch die Analysen der Strategien gesehen wurde, beachteten alle Gruppen die Rauheit als den wichtigsten Faktor, wenn sie den kritischen Winkel einstellen sollten, dennoch gaben einige Versuchspersonen an, dass das Gewicht und die Fläche einen Einfluss auf den Rutschbeginn hätten. In den ersten Experimenten wurde stets die Rauheit vorgegeben. Nun stellt sich die Frage, wie die Rauheit von den Versuchspersonen wahrgenommen wird, ob es Gemeinsamkeiten in der Rauheitswahrnehmung gibt oder ob sich hinsichtlich der "Spürfähigkeit" ein Altersunterschied abzeichnet.

8.1 Forschungsfrage Experiment 3a: Rauheitswahrnehmung

Zur Frage nach der nötigen Rauheit (und Feinheit), bei der etwas ins Rutschen kommen kann, soll zuerst ein Überblick gewonnen werden, wie sich die taktile Rauheitswahrnehmung bei den Versuchspersonen unterscheidet.

8.1.1 Hypothese Experiment 3a

Untersucht man die Spürfähigkeit von Kindern und Erwachsenen, so lässt sich einerseits vermuten, dass Kinder aufgrund der feineren Haut und Finger eine höhere Spürfähigkeit besäßen. Umgekehrt könnte argumentiert werden, dass gerade die jüngeren Kinder wegen ihrer geringeren Erfahrung im Umgang mit explizitem taktilem Wissen weniger Rauheitskategorien erspüren. Geht man vom zweiten Standpunkt aus, so besagte die Hypothese in Experiment 3a, dass sich ein Alterstrend abzeichnet, in dem jüngere Kinder weniger und mit zunehmendem Alter mehr Rauheitskategorien unterschieden werden können. Weiter ist zu überlegen, ob ein Geschlechterunterschied zu erkennen ist und ob es eine allgemeingültige interne Skalierung von Rauheiten gibt.

8.1.2 Methode Experiment 3a

Versuchspersonen

Es wurden dieselben Kinder und Erwachsenen untersucht aus Experiment 2c. Die Kindergruppe bestand aus 6-7-jährigen (Altersdurchschnitt = 6;4, Range = 6;0-7;11), 8-9-jährigen (Altersdurchschnitt = 8;4, Range = 7;0-9;11), 10-11-jährigen (Altersdurchschnitt = 9;0-12;11, Range = 10;5), 12-13-jährigen (Altersdurchschnitt = 12;5, Range = 11;0-13;11) und der Erwachsenengruppe (Altersdurchschnitt = 24;4, Range = 19;0-37;11).

Versuchsmaterial

Auf der Oberfläche eines Rauheitsstabs (Länge 100cm) waren 15 verschiedene Rauheitskategorien (jeweils 6.5cm breit) aufgetragen. Die Übergänge von einer zur nächsten Rauheitskategorie waren kaum fühlbar. Die Körnungen (nach CAMI) lagen zwischen 40 (raueste Kategorie) und 800 (feinste Kategorie).

Versuchsablauf

Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, mit geschlossenen Augen mit den Fingern der dominanten Hand auf dem Rauheitsstab von rau zu fein (= "rau-fein-Fühler"), bzw. von fein zu rau (= "fein-rau-Fühler") zu fahren und anzugeben, wann sie einen deutlichen Unterschied zur nächsten Kategorie spüren. Die dominante Hand (i.d.R. die Schreibhand) wurde deshalb gewählt, weil diese im Gegensatz zur nicht-dominanten Hand in der Feinmotorik besser trainiert ist.

8.1.3 Resultate Experiment 3a

Gruppenanalyse

Die "fein-rau"-Fühler ($n = 100$) nahmen von den 15 möglichen Kategorien im Durchschnitt 6,01 Kategorien ($SD = 2.307$), die "rau-fein"-Fühler ($n = 100$) 5.87 Kategorien ($SD = 2.497$) wahr. Die beiden Gruppen unterschieden sich hinsichtlich Anzahl gefühlter Kategorien jedoch nicht signifikant voneinander $t(198) = .412, p = .681$. Es hat also keine Bedeutung, ob von fein zu rau oder umgekehrt ertastet wird.

Bezüglich Geschlecht zeigt sich im Durchschnitt ebenfalls kein Unterschied bei der Anzahl gefühlter Kategorien $t(198) = -.530, p = .597$, wobei die männlichen Versuchspersonen ($n =$

100) 5.85 Kategorien ($SD = 2.379$), die weiblichen Versuchspersonen ($n = 100$) 6.03 Kategorien ($SD = 2.426$) erfüllten.

Vergleicht man die einzelnen Gruppen (je $n = 40$) bezüglich Anzahl Kategorien, so kann ein signifikanter Gruppenunterschied und ein Alterstrend festgestellt werden. Die 6-7-jährigen gaben im Durchschnitt 4.9 Kategorien ($SD = 1.8$), die 8-9-jährigen 5.3 Kategorien ($SD = 2.3$), die 10-11-jährigen 6.7 Kategorien ($SD = 2.4$), die 12-13-jährigen 5.5 Kategorien ($SD = 2.5$) und die Erwachsenen 7.3 Kategorien ($SD = 2.2$) an (Abbildung 8-1).

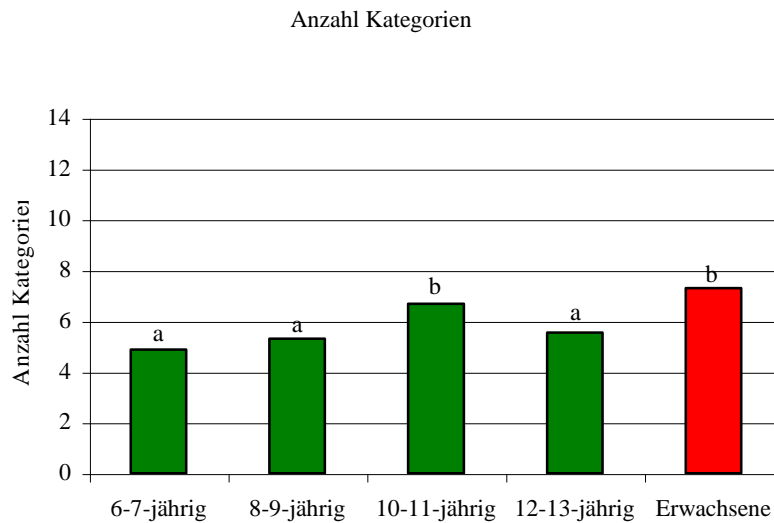


Abbildung 8-1 Anzahl gefühlter Kategorien pro Gruppe

Ein geschlechtsspezifischer Unterschied ist nur bei den Erwachsenen festzustellen, wobei die Männer ($n = 20$) im Durchschnitt 6.6 ($SD = 1.39$) und die Frauen ($n = 20$) 8.00 ($SD = 2.59$) Kategorien spürten, $t(38) = -2.126$, $p < .05$ (Abbildung 8-2).

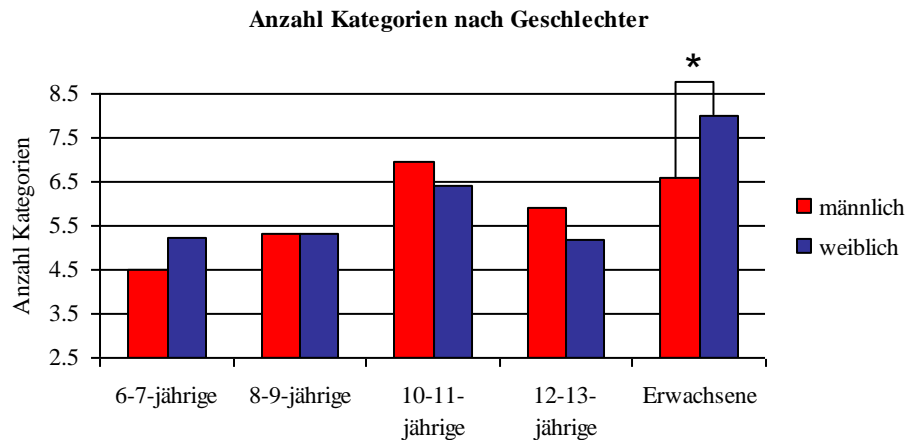


Abbildung 8-2 Geschlechtsspezifischer Unterschied in der Anzahl gespürter Kategorien

8.1.4 Diskussion

Die Erwachsenen unterscheiden sich signifikant voneinander, wobei die Frauen 8 Kategorien und die Männer im Vergleich dazu 6.6 Kategorien spürten. Bei den Kindern sind diese Unterschiede nicht zu finden. Auf Gruppenebene unterscheiden sich jedoch die 10-11-jährigen Kinder von den anderen Kindergruppen.

Auffallend sind die wenigen Kategorien bei den jüngeren Kindern, die von den 15 möglichen Abstufungen nur einen Viertel bis einen Drittel der Kategorien erspürt haben. Obschon sich die Ergebnisse der Kindergruppen nicht signifikant voneinander unterscheiden, kann eine leichte Zunahme der Anzahl gespürter Kategorien gesehen werden. Die Überlegung liegt nahe, dass die Kinder aus mangelnder Motivation oder Verständnis die Aufgabe nicht korrekt gelöst oder mitgemacht hätten. Die Erwachsenen haben demgegenüber ebenfalls deutlich weniger als die 15 möglichen Kategorien erspürt. Es ist einerseits anzunehmen, dass die Erwachsenen die Aufgabe motiviert angegangen sind und es wird von ihnen erwartet, dass sie die Aufgabe verstanden haben. Bei dem ähnlichen Ergebnis der Erwachsenen und den Kindern ist folglich zu interpretieren, dass die wenig erspürten Kategorien der Kinder nicht auf fehlende Motivation oder mangelndes Verständnis der Aufgabe zurückzuführen ist.

Aus den gewonnenen Daten kann jedoch noch nicht gesagt werden, ob es eine Art Expertenwissen der Rauheitswahrnehmung gibt und ob es eine "Grundspürfähigkeit" gibt, die Kinder und Erwachsene besitzen. Um dieser Frage näher zu betrachten, sollen die

Einschätzungen der Kategorien mit "Experten" nochmals durchgeführt werden. Dabei liegt es nahe, dass blinde Versuchspersonen für dieselbe Aufgabe untersucht werden. Da Blinde als Experten des taktilen Wahrnehmens angesehen werden können, müssen sie in der Lage sein, die Brailleschrift zu lesen. Das bedeutet, dass sie seit einigen Jahren geübt sein müssen, mit den Fingern Rauheiten und Unebenheiten erfassen zu können.

8.2 Forschungsfrage Experiment 3b: Rauheitswahrnehmung Blinde

Um eine Validierung der von den Versuchspersonen angegebenen Kategorien vornehmen zu können, wurden blinde Versuchspersonen hinzugezogen, um dieselbe Aufgabe wie in 3a auszuführen. Die Blinden gelten dabei als "Experten" im taktilen Wahrnehmen. Sie mussten kongenital blind oder in den frühen Lebensjahren erblindet sein. Zudem mussten sie die Brailleschrift lesen können (Van Boven, Hamilton, Kauffman, Keenan, & Pascual-Leone, 2000; Sathian, 2000).

8.2.1 Hypothese Experiment 3b

Aufgrund der Fragestellung, ob Blinde die Rauheiten gleich wahrnehmen wie Sehende, besagt die Hypothese, dass kongenital Blinde oder in den ersten Lebensjahren Erblindete, die die Brailleschrift lesen können, das nötige "Fingerspitzengefühl" besitzen, um Rauheiten in feineren Abstufungen wahrnehmen zu können als Sehende.

Es wird erwartet, dass bei Blinden durch das Training des Lesens der Brailleschrift die taktile Wahrnehmung eine "höhere Auflösung" hat als bei sehenden Erwachsenen. Diese Hypothese wird dadurch unterstützt, dass die sensorischen kortikalen Areale – Brodmannareale BA3a, BA3b, BA1 und BA2 – zur auflösenden Repräsentation der von den Fingern afferenten Informationen beitragen. Dabei haben die Brodmannareale die Funktionen, dass BA3a sensorische Informationen aus Muskeln und Gelenken der Extremitäten erhält, BA3b erhält sensorische Informationen aus den Hautrezeptoren, BA1 verarbeitet die Informationen aus BA3b weiter und BA2 integriert die vorverarbeitete Information aus BA3a und BA3b. Da das Gehirn nicht einfach eine statische Masse ist, sondern sich durch seine Plastizität und durch entsprechendes Training verändern kann, kann in der kortikalen Repräsentation bei Blinden ein ausgeprägtes Hand- und Fingerareal, festgestellt werden.

In Experiment 3b sollte somit gezeigt werden können, dass die Kategorisierung der gegebenen Rauheiten auf dem Rauheitsstab bei der blinden Versuchsgruppe einheitlicher und in feineren Abstufungen angegeben wird als bei der sehenden Versuchsgruppe.

8.2.2 Methode Experiment 3b

Versuchspersonen

Es wurden insgesamt 5 blinde Versuchspersonen untersucht (weiblich = 3, männlich = 2, Alter 22;0-51;11; $MW = 37;6$). Alle waren von Geburt an blind oder in den ersten Lebensjahren erblindet und sind geübt im Lesen der Brailleschrift. Die Versuchspersonen konnten aus dem Bekanntenkreis des Versuchsleiters gewonnen werden.

Versuchsmaterial

Es wurde derselbe Rauheitsstab verwendet wie in Experiment 3a.

Versuchsablauf

Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, mit den Fingern der dominanten Lesehand auf dem Rauheitsstab von rau zu fein und umgekehrt von fein zu rau zu fahren und anzugeben, wann sie einen deutlichen Unterschied zur nächsten Kategorie spüren. Der Versuchsleiter notierte diejenige Kategorie, bei der die Versuchspersonen eine neue Kategorie angaben.

8.2.3 Resultate Experiment 3b

Die blinden Versuchspersonen spürten im Durchschnitt 13.4 Kategorien ($SD = .894$) mit einem Range von 12-14 Kategorien. Dieser einerseits hohe Durchschnittswert lässt auf eine hohe Spürfähigkeit hinweisen. Zudem zeigt sich ein sehr kleiner Range. Vergleicht man diese Werte mit denen der (sehenden) Erwachsenen, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied, $t(43) = -6.157$, $p < .001$. Abbildung 8-3 zeigt die Verteilung der erspürten Kategorien der sehenden und blinden Erwachsenen.

Die Erwachsenen unterscheiden sich jedoch nicht signifikant von den 10-11-jährigen (Abbildung 8-4, b), jedoch von den 6-7-jährigen, 8-9-jährigen und den 12-13-jährigen (Abbildung 8-4, a). Die 10-11-jährigen unterscheiden sich ebenfalls signifikant von den anderen Kindergruppen. Alle Gruppen unterscheiden sich signifikant von den Blinden (Abbildung 8-4, c).

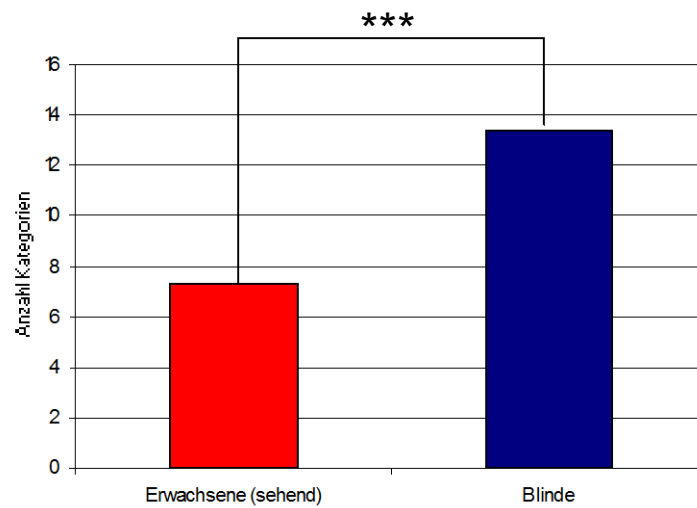


Abbildung 8-3 Anzahl gefühlter Kategorien von sehenden und blinden Erwachsenen

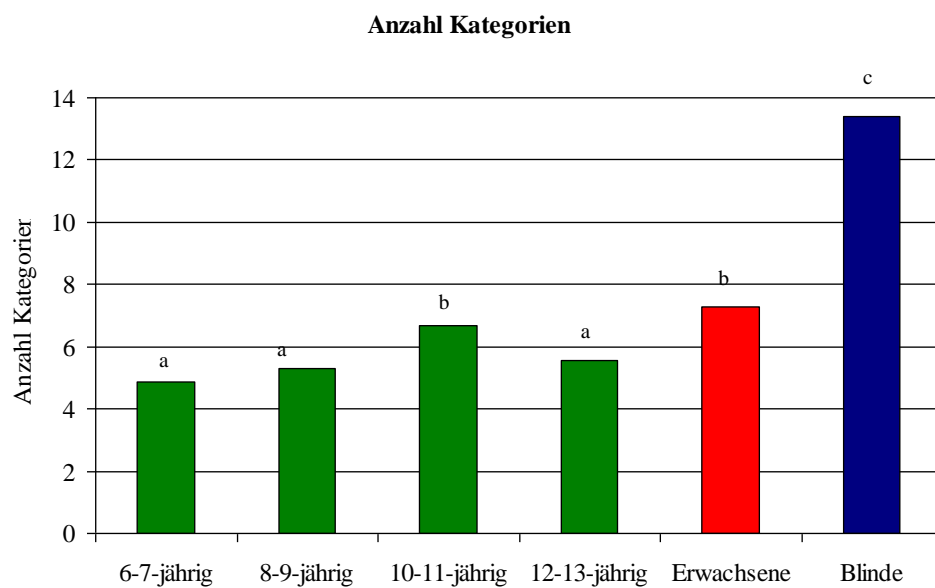


Abbildung 8-4 Anzahl gefühlter Kategorien der Kindergruppen (grün), den sehenden Erwachsenen (rot) und den blinden Erwachsenen (blau)

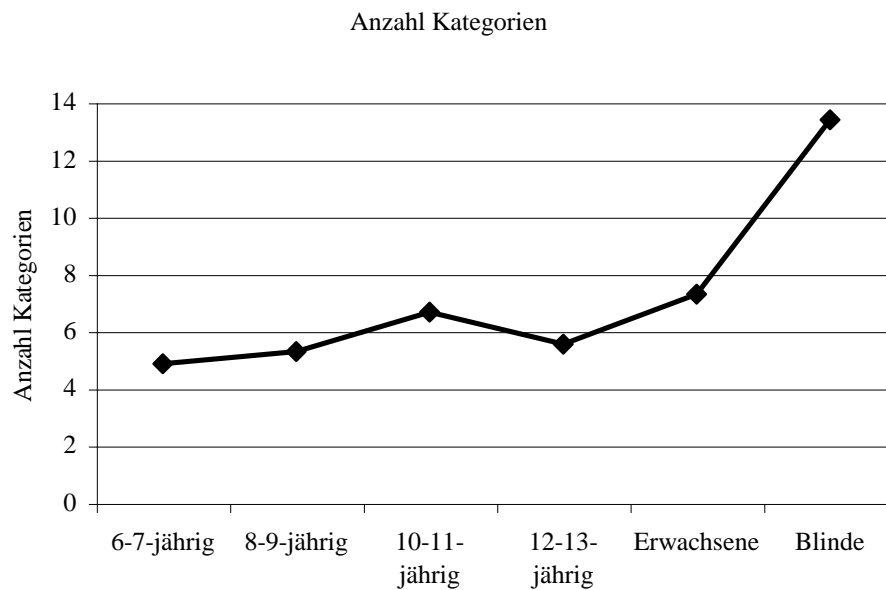


Abbildung 8-5 Darstellung der leichten Zunahme der gefühlten Kategorien pro Gruppe

8.2.4 Diskussion

In Experiment 3b kann eindrücklich die Erfahrung im taktilen Umgang bei Blinden gesehen werden. Während die sehenden Erwachsenen im Durchschnitt 7.3 Kategorien wahrnahmen, nahmen die Blinden doppelt so viele mit einer deutlich kleineren Streuung wahr. Aufgrund der signifikant feineren Spürfähigkeit der Blinden, können Blinde als Experten des taktilen Fühlens betrachtet werden. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die taktile Wahrnehmung und somit die Wahrnehmung von Rauheiten auf die Erfahrung zurückgeführt werden kann. Dies könnte auch die leichte Zunahme der Anzahl gespürter Kategorien von den jüngeren Kindern bis hin zu den Erwachsenen erklären, obschon der Unterschied statistisch nicht signifikant ist.

8.3 Forschungsfrage Experiment 3c: Rauheit (Winkel, Gewicht)

Wie in Experiment 3a gezeigt werden konnte, sind leichte Unterschiede im Spüren der Rauheiten in den Altersgruppen ersichtlich, wobei sich mit der Zunahme des Alters eine leichte Zunahme der Anzahl gespürter Kategorien abzeichnet. Es stellt sich die Frage, ob diese Unterschiede auch einen Einfluss haben, wenn der Winkel und das Gewicht variiert werden, oder ob bei dieser Frage nach der nötigen Rauheit wiederum Misskonzepte vorherrschen und irrelevante Faktoren für ein Urteil integriert werden.

Vor diesem Hintergrund soll untersucht werden, wie rau ein Objekt sein müsste, damit es auf der schiefen Ebene, bei vorgegebenem Winkel, gerade noch stehen bleibt oder wie die feinst mögliche Körnung eingeschätzt wird, damit das Objekt auf der schiefen Ebene, bei vorgegebenem Winkel, gerade nicht ins Rutschen gerät. Durch das Einschätzen der Rauheitskategorien könnte so ein Zugang zum Verständnis über die Rauheiten gefunden werden.

8.3.1 Hypothese Experiment 3c

In 3a und 3b wurde dahingehend ein Alterstrend gefunden, dass die Erwachsenen mehr Kategorien wahrnahmen als jüngere Kinder. Aufgrund der grösseren Differenzierung der Kategorien wird vermutet, dass die Erwachsenen beim Einschätzen der Rauheit genauere und näher an der Norm liegende Werte angeben.

8.3.2 Methode Experiment 3c

Versuchspersonen

Es wurden dieselben Kindergruppen (je $n = 40$) und Erwachsenen ($n = 40$) untersucht wie in Experiment 3a. Die Gruppen bestanden aus 6-7-jährigen (Altersdurchschnitt = 6;4, Range = 6;0-7;11), 8-9-jährigen (Altersdurchschnitt = 8;4, Range = 7;0-9;11), 10-11-jährigen (Altersdurchschnitt = 9;0-12;11, Range = 10;5), 12-13-jährigen (Altersdurchschnitt = 12;5, Range = 11;0-13;11) und der Erwachsenenengruppe (Altersdurchschnitt = 24;4, Range = 19;0-37;11).

Versuchsmaterial

Es wurde dieselbe schiefe Ebene verwendet wie in den vorangegangenen Experimenten. Die in Experiment 3c verwendeten Quader waren so hergestellt, dass sie zusammen mit der Oberfläche der schiefen Ebene einen sehr tiefen Haftreibungskoeffizienten μ aufwiesen. Die Gewichte der Quader waren analog zu denjenigen der vorangegangenen Experimenten 150g (leicht), 300g (mittel), 450g (schwer). Die Oberfläche des Rauheitsstabes war so präpariert, dass aus 15 verschiedenen Körnungsgraden gewählt werden konnte. Die Körnungen waren nach CAMI sehr fein (800 Körner/cm²) bis sehr grob (40 Körner/cm²).

Versuchsablauf

Die Aufgabe für die Versuchspersonen bestand darin, auf dem Rauheitsstab eine Rauheit für die Holzquader anzugeben, mit der sie gerade nicht rutschen würden. Es wurden der Winkel (UV_1) und das Gewicht (UV_2) der Quader in je 3 Dimensionen systematisch variiert vorgegeben.

Die Versuchspersonen bekamen in systematisch variiert Reihenfolge einen der drei Versuchsquader in die Hände, mit den Ausprägungen leicht (150g), mittel (300g) oder schwer (450g), um das Gewicht zu spüren. Zusammen mit einem vorgegebenen Winkel (15 Grad, 25 Grad, 35 Grad) war die Aufgabe, diejenige Rauheit anzugeben, mit der der Quader gerade nicht mehr rutschen würde. Dabei sollte die feinst mögliche Kategorie angegeben werden. Die Rauheiten wurden vom Versuchsleiter notiert.

8.3.3 Resultate Experiment 3c

Abbildung 8-6 zeigt das ideale Muster in Experiment 3c. Dabei ist erkennbar, welche feinst möglichen Körnungen bei den entsprechenden Winkeln nötig wären, um nicht zu rutschen. Das Gewicht der Quader ist dabei irrelevant. Bei einem Winkel von 15 Grad ist mindestens eine Körnung von 800 zu wählen, bei einem Winkel von 25 Grad eine Körnung von 500 und bei einem Winkel von 35 Grad eine Körnung von 220.

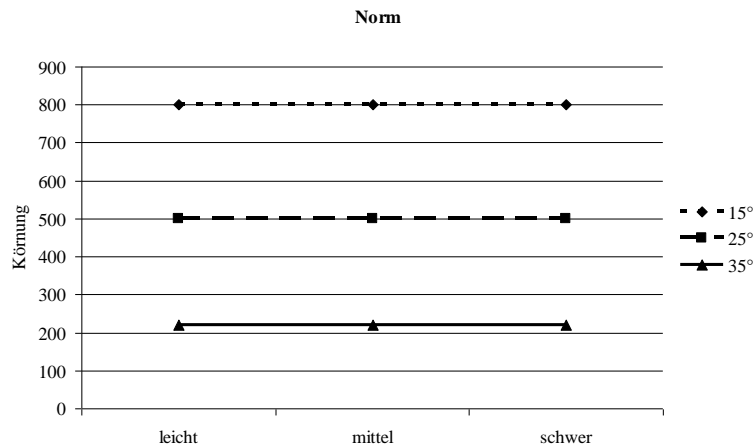


Abbildung 8-6 Graphische Darstellung des idealen Musters der Rauheit in Abhängigkeit des Winkels und des Gewichts

Gruppenanalysen

Den Graphen der Abbildung 8-7 bis Abbildung 8-11 ist zu entnehmen, dass alle Gruppen die Rauheiten überschätzten. Dies zeigen die tiefen Körnungsangaben. Die Versuchspersonen gaben alle an, dass bei den vorgegebenen Winkeln eher raue Oberflächen angegeben werden müssten. Aus den Daten ist ersichtlich, dass die Gruppen korrekt das Gewicht nicht in ihr Urteil mit einbezogen. Die Ausnahme bilden dabei die 10-11-jährigen Kinder, die ebenfalls das Gewicht beachtet haben.

Bei den 6-7-jährigen Kindern zeigt sich ein signifikanter Effekt des Winkels ($F(2, 76) = 55.645, p < .001, \eta^2 = .594$), jedoch nicht des Gewichts ($F(2, 76) = .126, p = .882, \eta^2 = .003$) oder deren Interaktion ($F(4, 152) = 1.078, p = .37, \eta^2 = .028$). Bei den 8-9-jährigen zeigt sich ebenfalls einen signifikanten Effekt des Winkels ($F(2, 76) = 36.706, p < .001, \eta^2 = .491$) und nicht des Gewichts ($F(2, 76) = 2.661, p = .076, \eta^2 = .065$). Ebenfalls einen Effekt zeigt sich bei den 8-9-jährigen bei der Interaktion der beiden Faktoren ($F(4, 152) = 5.309, p < .001, \eta^2 = .123$). Bei den 10-11-jährigen Kindern ist auch ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Winkel ersichtlich ($F(2, 76) = 41.935, p < .001, \eta^2 = .525$) und ebenfalls beim Faktor Gewicht ($F(2, 76) = 5.813, p < .05, \eta^2 = .133$). Kein Effekt ist bezüglich der Interaktion der beiden Faktoren ersichtlich ($F(4, 152) = 1.194, p = .316, \eta^2 = .03$). Bei der ältesten Kindergruppe ist wiederum ein signifikanter Effekt des Winkels ($F(2, 76) = 55.365, p < .001, \eta^2 = .593$) und nicht des Gewichts ($F(2, 76) = .479, p = .621, \eta^2 = .012$) oder deren Interaktion ($F(4, 152) = 1.288, p = .277, \eta^2 = .033$) ersichtlich. Bei den Erwachsenen zeigt sich sowohl ein signifikanter

Haupteffekt des Winkels ($F(2, 76) = 143.472, p < .001, \eta^2 = .791$) wie auch des Gewichts ($F(2, 76) = 16.205, p < .001, \eta^2 = .299$) und deren Interaktion ($F(4, 152) = 8.255, p < .001, \eta^2 = .178$). Zusätzlich weist diese Gruppe einen Geschlechtereffekt bezüglich des Gewichts auf ($F(2, 76) = 8.465, p < .001, \eta^2 = .182$) und ebenfalls ein Geschlechtereffekt bezüglich der Interaktion von Gewicht und Winkel ($F(4, 152) = 5.251, p < .01, \eta^2 = .121$).

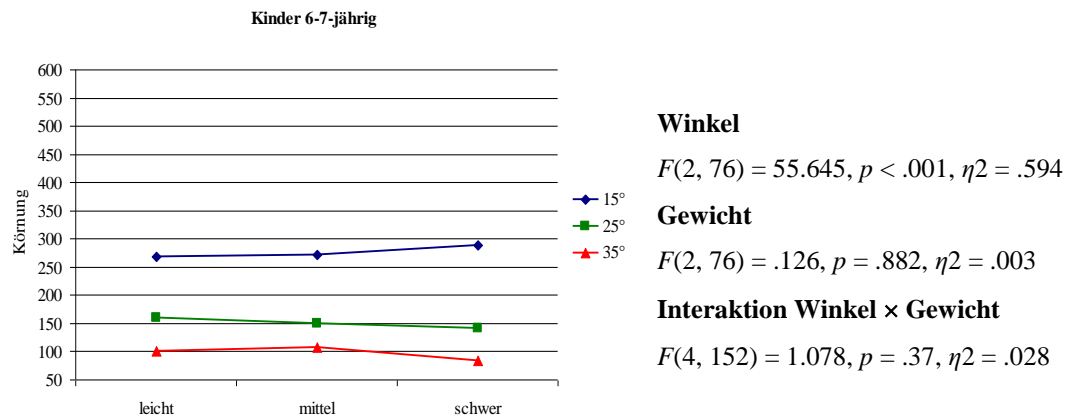


Abbildung 8-7 Darstellung der gemittelten Körnungsangaben der 6-7-jährigen, 3c

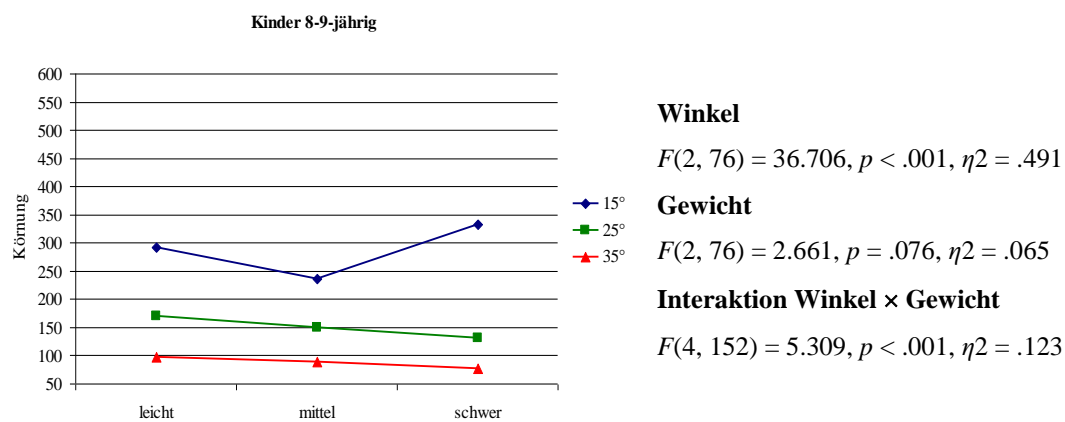


Abbildung 8-8 Darstellung der gemittelten Körnungsangaben der 8-9-jährigen, 3c

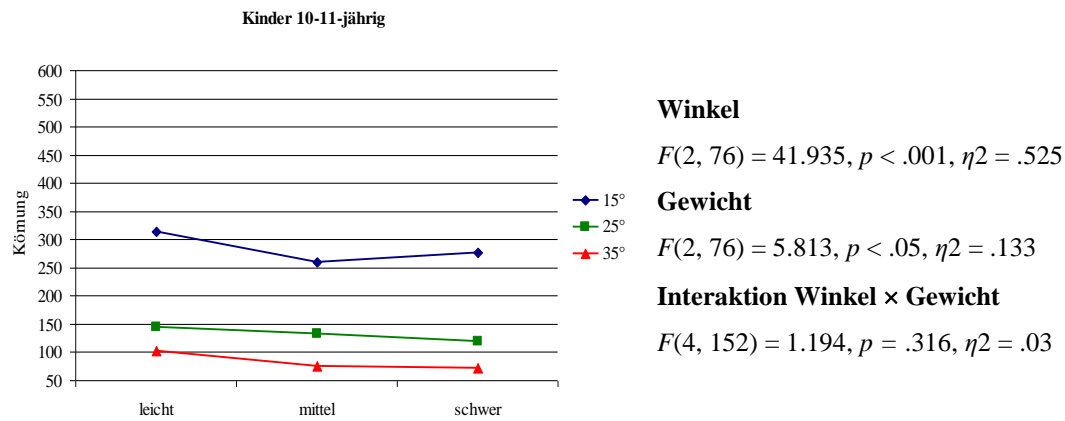


Abbildung 8-9 Darstellung der gemittelten Körnungsangaben der 10-11-jährigen, 3c

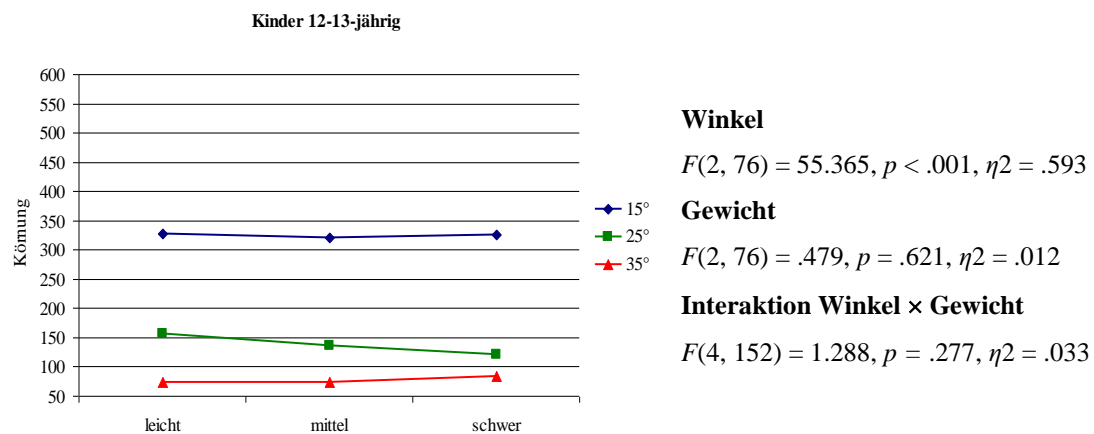


Abbildung 8-10 Darstellung der gemittelten Körnungsangaben der 12-13-jährigen, 3c

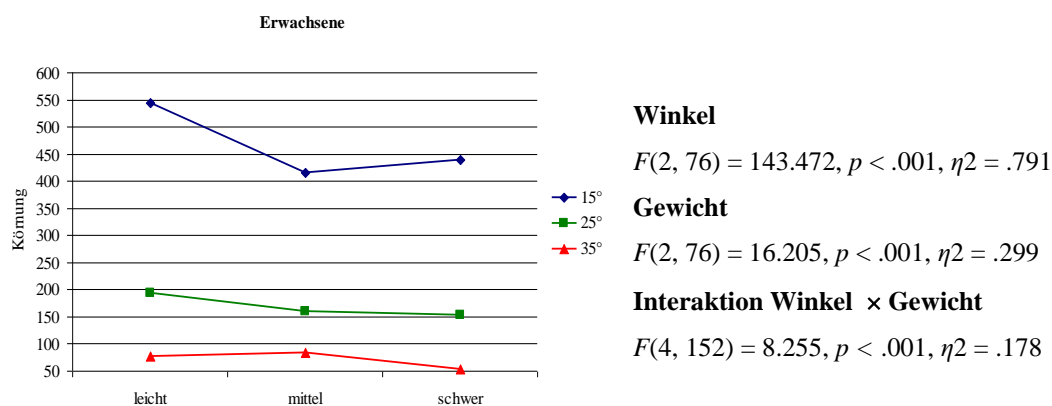


Abbildung 8-11 Darstellung der gemittelten Körnungsangaben der Erwachsenen, 3c

In den Gruppenanalysen zentrierten die 6-7-jährigen, 8-9-jährigen und 12-13-jährigen also normativ korrekt auf den Winkel und bezogen das Gewicht der Quader nicht in ihr Urteil mit ein. Es zeigt sich also, dass die jüngeren Kinder wiederum näher an der physikalischen Realität urteilten.

Hinsichtlich Messwiederholung zeigt sich ein Effekt bei den 6-7-jährigen ($F(1, 70) = 4.653, p < .05, \eta^2 = .109$) und bei den Erwachsenen ($F(1, 38) = 5.03, p < .05, \eta^2 = .117$). Dabei ist kein Effekt des Geschlechts erkennbar ((Kinder: $F(1, 38) = 1.246, p = .271, \eta^2 = .032$); Erwachsene: ($F(1, 38) = .197, p = .659, \eta^2 = .005$)) (Abbildung 8-12 und Abbildung 8-13). Bei alle anderen Gruppen zeigen sich diesbezüglich keine Effekte. Der Effekt bei den 6-7-jährigen ergibt sich lediglich beim Winkel von 15 Grad. Der Unterschied der Körnung von 27.6 ist jedoch als gering einzustufen. Ebenso ist ein durchschnittlicher Unterschied der Körnung von 17.8 bei den Erwachsenen als gering einzustufen.

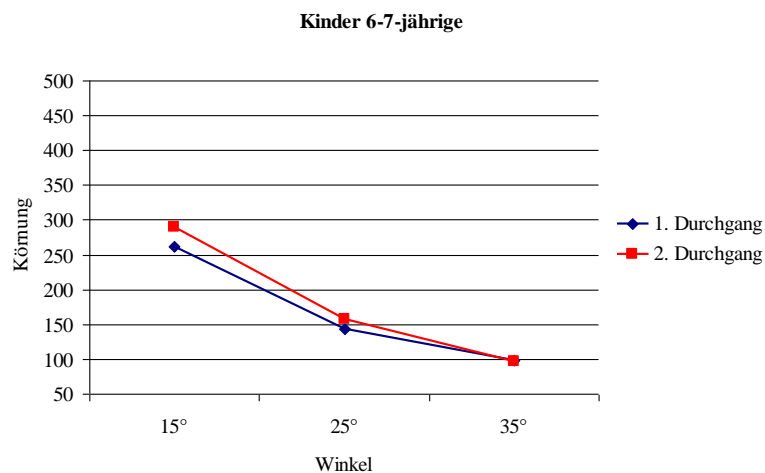


Abbildung 8-12 signifikanter Unterschied in der Messwiederholung der 6-7-jährigen

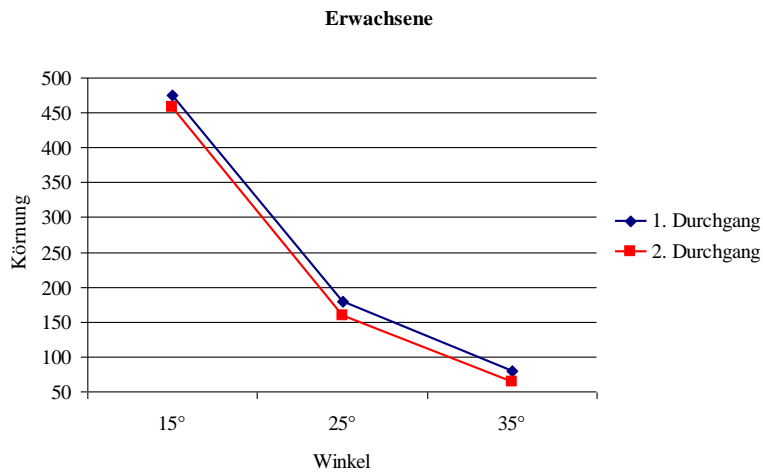


Abbildung 8-13 signifikanter Unterschied der Messwiederholung der Erwachsenen

Der Geschlechtereffekt bei den Erwachsenen ist auf den Quader mit dem leichtesten Gewicht und dem niedrigsten Winkel zurückzuführen. Abbildung 8-14 und Abbildung 8-15 veranschaulichen die entsprechenden Werte. Die Männer haben bei der jeweiligen Konstellation eine Körnung von rund 670, die Frauen dagegen eine Körnung von 418 gewählt. Die Körnungen des 25°-Winkels und des 35°-Winkels wurden in beiden Gruppen mit vergleichbaren Körnungen gewählt.

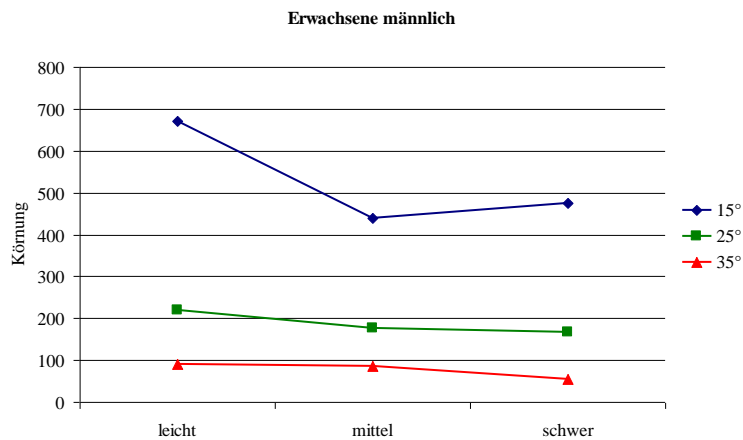


Abbildung 8-14 Darstellung der gemittelten Körnungsangaben der Männer, 3c

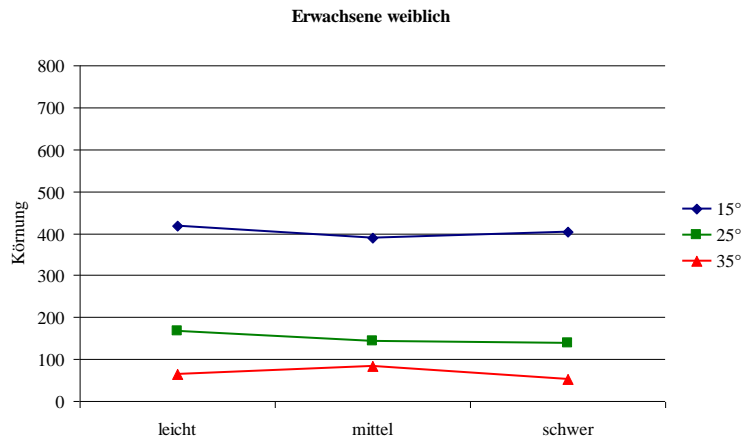


Abbildung 8-15 Darstellung der gemittelten Körnungsangaben der Frauen, 3c

Insgesamt fällt auf, dass die Kindergruppen vergleichbare Rauheiten wählten. Beim steilsten Winkel (35 Grad) kann ein leichter Alterstrend festgestellt werden. Dabei wurden mit zunehmendem Alter beim steilsten Winkel (35°) eher rauere Körnungen gewählt. Beim mittleren Winkel (25°) wird die Körnung bei den 6-7-jährigen bis zu den 10-11-jährigen leicht rauer angegeben und nimmt bei den 12-13-jährigen bis zu den Erwachsenen wieder ab. Die gewählten Rauheiten beim flachsten Winkel (15°) sind bei den 6-7-jährigen bis zu den 10-11-jährigen vergleichbar. Die 12-13-jährigen und die Erwachsenen wählten deutlich feinere Körnungen (vgl. Abbildung 8-16).

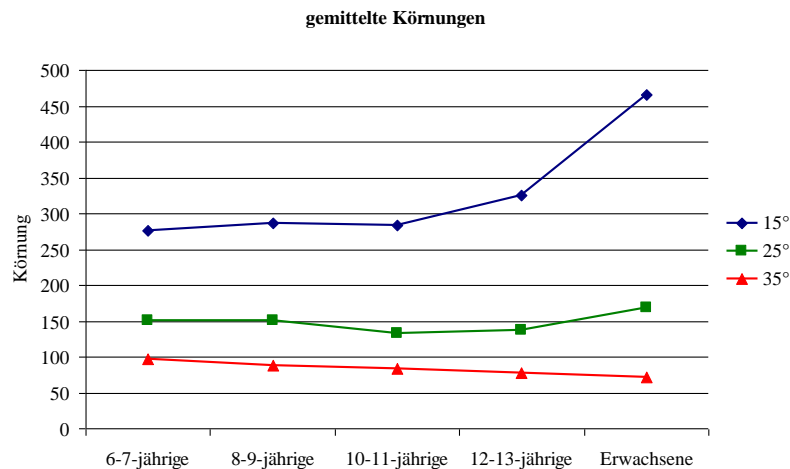


Abbildung 8-16 Darstellung der gemittelten Körnungsangaben nach Gruppen

Bei der Datenanalyse nach Geschlecht (Abbildung 8-17) zeigen sich bei den 6-7-jährigen bis zu den 10-11-jährigen wiederum vergleichbar gewählte Rauheiten. Die 12-13-jährigen Mädchen wählten im Durchschnitt feinere Rauheiten. Die Frauen wählten dabei vergleichbare Rauheiten und die Männer wählten im Vergleich dazu noch feinere Rauheiten. Es zeigt sich nur bei den Erwachsenen ein signifikanter Unterschied in den gewählten Rauheiten ($F(1, 38) = 5.796, p < .05, \eta^2 = .132$).

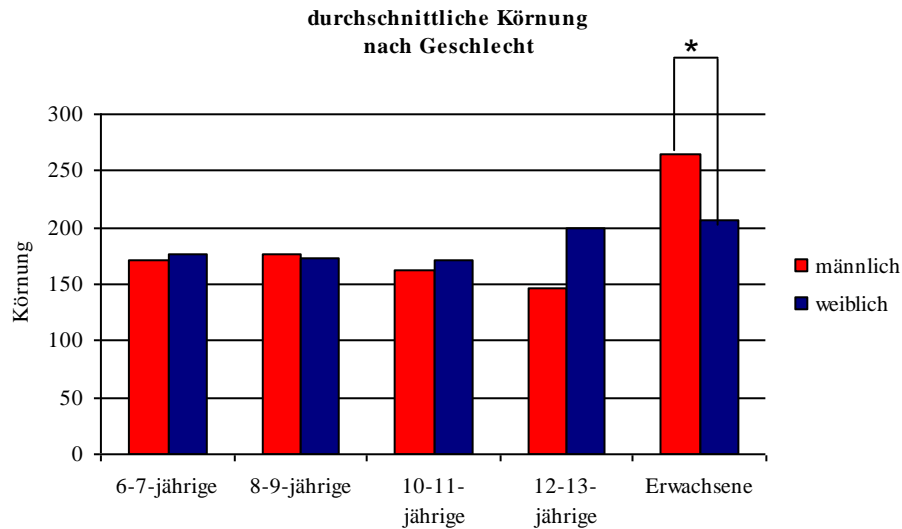


Abbildung 8-17 Durchschnittliche Körnungsangaben nach Geschlecht

Einzelanalysen

In den Einzelanalysen (Abbildung 8-18) der Daten zeigt sich, dass die Mehrheit der Versuchspersonen normativ korrekt auf den Winkel zentrierten. Dies waren 50% der 6-7-jährigen Kinder ($n = 20$), 55% der 8-9-jährigen ($n = 22$), 50% der 10-11-jährigen ($n = 20$), 70% der 12-13-jährigen ($n = 28$) sowie 57.5% der Erwachsenen ($n = 23$). Einer additiven Regel gingen 10% der 6-7-jährigen ($n = 4$) nach sowie 12.5% der 8-9-jährigen ($n = 5$), 15% der 10-11-jährigen ($n = 6$), 12.5% der 12-13-jährigen und 22.5% der Erwachsenen ($n = 9$). Eine multiplikative Regel verfolgten 30% der 6-7-jährigen ($n = 12$), 17.5% der 8-9-jährigen ($n = 7$), ebenfalls 17.5% der 10-11-jährigen ($n = 7$), 10% der 12-13-jährigen ($n = 4$) sowie 17.5% der Erwachsenen ($n = 7$). Keine ersichtliche Regel verfolgten 10% der 6-7-jährigen ($n = 4$), 12.5% der 8-9-jährigen ($n = 5$), 17.5% der 10-11-jährigen ($n = 7$), 7.5% der 12-13-jährigen ($n = 3$) und 2.5% der Erwachsenen ($n = 1$). Lediglich eine Person der 8-9-jährigen zentrierte auf

das Gewicht der Quader (2.5%), alle anderen Personen verfolgten eine andere Strategie. Ein Überblick über die prozentualen Anteile der intuitiven Regeln findet sich im Anhang in Tabelle 11-10.

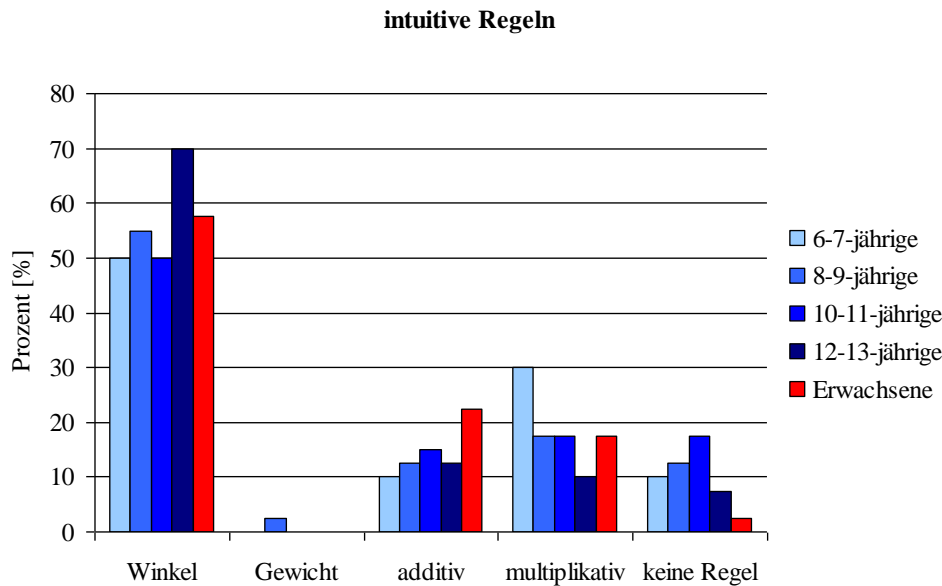


Abbildung 8-18 Verteilung der intuitiven Regeln in Experiment 3c

8.3.4 Diskussion

Diese Aufgabe war für viele Versuchspersonen schwierig, weshalb sie häufig angaben, dass sie bei jeder Bedingung die raueste Kategorie nehmen könnten, damit die Holzquader nicht rutschen würden. Die Instruktion, dass die feinst mögliche Körnung gesucht wird, bereitete den Versuchspersonen anfangs Mühe. Durch das Einschätzen der Rauheit auf dem Rauheitsstab (Experiment 3a) hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit, die zu verwendende Skala kennen zu lernen.

Auf impliziter Ebene kann festgehalten werden, dass die jüngeren Kinder normativ korrekt auf den Faktor Winkel zentrierten und das Gewicht der Quader korrekterweise nicht beachteten. Hinsichtlich der gewählten Körnungen, die die Gruppen gewählt haben, sind die Kindergruppen vergleichbar. Mit zunehmendem Alter wurden jedoch eher feinere Körnungen gewählt. Insgesamt wurden die Rauheiten überschätzt, wobei die Kinder vergleichbare Rauheiten wählten. Nur die Erwachsenen wählten aus einem grösseren Bereich, was wiederum

mit der Spürfähigkeit im Zusammenhang stehen könnte. Es wäre also möglich, dass die Kinder aufgrund ihrer taktilen Wahrnehmung gar nicht mehr Kategorien wahrnehmen können und ihnen deshalb ab einer gewissen Körnung die Rauheiten ähnlich grob erscheinen.

Hinsichtlich der intuitiven Regeln zeigte sich, dass die meisten Versuchspersonen korrekt auf den Winkel zentrierten und nur wenige Versuchspersonen keine bestimmte Regel verfolgten. Dies könnte durch das vorgegebene Design erklärt werden. Es ist eine kognitiv anspruchsvolle Aufgabe, aufgrund des vorgegebenen Winkels und Gewichts eine Einschätzung der nötigen Rauheit bezüglich des kritischen Winkels vorzunehmen. Es ist denkbar, dass die Kinder aufgrund der kognitiven Kapazität nur auf einen Faktor (Winkel) zentrierten und den anderen Faktor (Gewicht) vernachlässigten.

9 Allgemeine Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, über welches Wissen Kinder und Erwachsene bezüglich der physikalischen Reibung verfügen und ob sich dieses Wissen auf impliziter und expliziter Ebene unterscheidet. Dabei lag der Fokus darauf, wie aufgrund verschiedener Informationen (Rauheit, Grösse der Auflagefläche, Gewicht) die Neigung einer schiefen Ebene eingestellt werden kann, bis ein Objekt die Haftung verliert und zu rutschen beginnt.

9.1 Aufgabenspezifität

Schon die 6-jährigen Kinder zeigten in der Aufgabe zum Einstellen des kritischen Winkels ein erstaunlich gutes implizites Wissen, indem sie beide Faktoren, Fläche und Rauheit, zur Urteilsbildung integrierten. Zwar entspricht dies nicht der physikalisch korrekten Norm, unterstreicht aber dennoch Piagets Postulat, dass Kinder der konkret-operationalen Stufe zwei Aspekte beachten können und in eine Vorstellung integrieren. Dabei zeigen Kinder und Erwachsene auf Gruppenebene eine vergleichbare kognitive Algebra. Dies bestätigt frühere Befunde des Bereichs der intuitiven Physik, wonach Kinder in handlungsnahen Aufgaben ein den Erwachsenen ähnlich gutes implizites Wissen zeigen (Frick et al., 2005; Frick et al., 2009; Huber et al., 2003; Krist et al., 1993; Wilkening, 1981). Obschon bei den Aufgaben zum impliziten Wissen auf einen relevanten Faktor hätte zentriert werden müssen (Rauheit), beachteten die Gruppen bei der Rauheit-Flächen-Aufgabe neben dem relevanten auch den irrelevanten Faktor (Fläche). Hingegen urteilten die jüngeren Kinder und Erwachsenen bei der Rauheit-Gewicht-Aufgabe der physikalischen Norm entsprechend und zentrierten auf den relevanten Faktor, während die älteren Kinder einer additiven Strategie folgten. Diese Befunde zeigen, dass auf verschiedenen Altersstufen verschiedene kognitive Strategien angewendet werden, was frühere Studien bestätigt (Siegler, 1981; Wilkening & Anderson, 1991). Inwiefern die Erfahrung dabei eine Rolle spielt, lässt sich nicht klärend beantworten. Aufgrund der Einzelanalysen der Ergebnisse der Rauheit-Flächen-Aufgabe kann spekuliert werden, dass die Erfahrung eine Rolle spielt, da mit zunehmendem Alter die korrekte Zentrierung auf den relevanten Faktor vorgenommen wurde³. Die Aufgabe erscheint jedoch eher alltagsfremd, während die Rauheit-Gewicht-Aufgabe alltagsnah ist. Aufgrund deren Ergebnisse kann spekuliert werden, dass eher die Theorie der kognitiven Kapazität zu tragen kommt, die besagt,

³ Um die Erfahrung zu erfassen, müsste mittels Längsschnittstudie und weiteren methodischen Ansätzen sowie didaktischer Arbeit das Wissen zu verschiedenen Zeitpunkten erhoben werden, worauf noch eingegangen wird (s. 9.5).

dass trotz der Erfahrung ein fehlerhaftes Urteilen aufgrund der nicht ausreichenden kognitiven Kapazität zustande kommt (Kaiser et al., 1985; McCloskey, et al., 1985). Ebenfalls zeigen die unterschiedlichen Resultate in der Rauheit-Flächen-Aufgabe und Rauheit-Gewicht-Aufgabe, dass die Antworten von der Aufgabenstellung abhängig sind, was die Aufgabenspezifität unterstreicht und gegen Piagets Ansatz der Generalisierbarkeit des Wissens spricht.

9.2 Wissensdissoziation und Misskonzepte

Alle Altersgruppen zeigen in den Erhebungen ein mit dem impliziten Wissen nicht übereinstimmendes explizites Wissen. Die Befragungen zeigen, dass in allen Altersgruppen die Meinung vorherrscht, dass alle Faktoren beim kritischen Winkel und der Haftreibung eine relevante Rolle spielen würden. Dieser Befund konnte sowohl in der Rauheit-Fläche-Aufgabe wie auch in der Rauheit-Gewicht-Aufgabe gezeigt werden und geht einher mit früheren Studien zur intuitiven Physik (Frick et al., 2005; Frick et al., 2009; Huber et al., 2003; Kaiser, et al., 1985; Krist, et al., 1993; McCloskey, 1983; McCloskey, et al., 1985). Dieser fehlende Wissenstransfer zwischen den Aufgaben legt den Schluss nahe, dass das implizite Wissen unabhängig vom expliziten Wissen existiert und dass die beiden Ebenen kaum miteinander interagieren. Die Wissensdissoziationen existieren zudem nicht nur bei den Kindern (Wilkening, Huber, & Cacchione, 2006), sondern lassen sich auch bei den Erwachsenen finden und scheinen zudem keine Ausnahme zu sein. Das lässt den Schluss zu, dass einfache Alltagserfahrungen nicht per se genügen, um auf die formalen physikalischen Gesetze korrekt abstrahieren zu können, womit Erfahrungen als Ansammlungen von limitierten, konkreten Information über spezifische Situationen zu betrachten sind (Caramazza et al., 1981).

Sowohl in der Rauheit-Fläche-Aufgabe als auch in der Rauheit-Gewicht-Aufgabe zeigen sich Misskonzepte, deren Herkunft näher betrachtet werden soll. Die Erklärungen der Versuchspersonen machen deutlich, dass die vermeintliche Erfahrung in das Urteil über die Steilheit des Winkels der schiefen Ebene einfließt. Zudem erkennt man, dass schon die 6-jährigen Kinder eine Vorstellung über die physikalischen Eigenschaften des Versuchsmaterials haben, die das Flächenmisskonzept aus phänomenologischer Sicht erklären kann. Das Misskonzept rührt daher, dass gemeint wird, eine grosse Fläche bedeute automatisch mehr Reibung, resp. einen grösseren Haftreibungskoeffizienten. Dabei wird vergessen, dass das Verhältnis zwischen der Grösse der Fläche und dem Gewicht pro Fläche unverändert bleibt. Analog verhält es sich beim Gewichtsmisskonzept, wobei auch hier schon die 6-jährigen eine

klare Vorstellung der Physik haben, indem sie das Gewicht direkt mit der Anpresskraft, aber nicht mit dem Haftreibungskoeffizienten in Verbindung bringen. Wiederum ist aus phänomenologischer Sicht richtigerweise abzuleiten, dass sich ein schwerer Körper mit mehr Kraft verschieben lässt. Dabei wird nur der Kraftaufwand berücksichtigt und das gleichbleibende Verhältnis zwischen Kraftaufwand und Gewicht vernachlässigt. Die Erklärungen des Flächen-, wie auch Gewichtsmisskonzepts wurden sowohl von den Kindern wie auch von den Erwachsenen genannt, was zeigt, dass die alternativen Konzepte sehr stabil sind, resp. nicht umgeformt oder korrigiert wurden. Dies ergänzt Befunde aus früherer Forschung, die ebenfalls alternative Konzepte und deren Stabilität beschrieben (z.B. Andersson, & Kärrqvist, 1982; Caramazza et al., 1981; Champagne et al., 1980; Clement, 1981; Kaiser, McCloskey, et al., 1986; Kaiser, Jonides, et al., 1986; McCloskey, 1985; McCloskey, & Proffitt, 1983; McDermot, 1984; Stead, & Osborne, 1980), und schon Piaget und Inhelder (1972) meinten, dass "ein 9 bis 10 Jahre altes Kind Beziehungen und Richtungen berücksichtigt, die mit 5 bis 6 Jahren noch nicht angewendet werden, weshalb Figuren besser erforscht und auch mehr antizipiert werden. Die Wahrnehmungstätigkeiten macht die Wahrnehmung adäquater, und es korrigiert die systematischen Täuschungen oder Verzerrungen. Jedoch können neue systematische Irrtümer erzeugt werden, indem sie neue Bezüge schaffen, die mit dem Alter zunehmen. Als Beispiel dient dabei die Gewichtstäuschung. Werden zwei gleichschwere, jedoch ungleich grosse Schachteln miteinander verglichen, so scheint die Gössere leichter zu sein, weil man erwartet, dass sie schwerer ist. Dieser Irrtum ist mit 10 bis 12 Jahren grösser als mit 5 bis 6 Jahren, weil die Antizipation aktiver ist. Stark Debile, die überhaupt nicht antizipieren, zeigen keine solche Täuschung" (nach Piaget & Inhelder, 1972).

Im Gegensatz zu den ersten Experimenten stellte sich die dritte Versuchsreihe als anspruchsvoll heraus, da aufgrund eines vorgegebenen Winkels und Gewichts eine Einschätzung der nötigen Rauheit vorzunehmen war. Die vergleichbaren Resultate der Kinder könnten bedeuten, dass ihre taktile Wahrnehmung nur bis zu einer bestimmten Rauheit auflösen kann. Es ist auch denkbar, dass die Kinder aufgrund der kognitiven Kapazität dem Anspruch an die Aufgabe noch nicht gewachsen sind, was wieder die Aufgabenspezifität unterstreichen würde (Kaiser et al., 1985; McCloskey, et al., 1985). Es konnte gezeigt werden, dass die Erfahrung im Umgang mit dem taktilen Fühlen beim Wahrnehmen von Rauheiten und dem Bestimmen der nötigen Rauheit entscheidend ist. Denn alle sehenden Versuchspersonen nahmen deutlich weniger Rauheitskategorien wahr als Blinde, die wiederum fast alle

vorgegebenen Kategorien korrekt erkannten. Dies zeigt die Wichtigkeit der Erfahrung im Umgang mit der Sensorik, was durch Studien zur taktilen Wahrnehmung unterstützt wird (Van Boven et al., 2000; Sathian, 2000).

9.3 Absolute Genauigkeit

Obwohl die absoluten Winkel in den Experimenten 1 und 2 nicht von primärem Interesse waren, ergaben sich dennoch interessante Nebenergebnisse. Mit zunehmendem Alter der Versuchsgruppen wurden die kritischen Winkel weniger steil eingestellt. Dabei lagen die Kinder näher an den physikalisch normativen Werten als die Erwachsenen. Zudem konnte ein Alterstrend festgestellt werden, bei dem die Abweichung von den normativen Werten mit zunehmendem Alter zunahm. Bei den exakten Einstellungen unterschätzten dabei alle Altersgruppen die normativen Werte, und es zeigte sich ein U-förmiger Verlauf, wobei die jüngsten Kinder näher an den physikalischen korrekten Werten lagen als die Erwachsenen. Eine mögliche Erklärung des U-förmigen Verlaufs wäre, dass den jungen Kindern die nötige Erfahrung im Umgang mit den erhaltenen Informationen fehlt und sie deshalb intuitiv richtig agieren, während die älteren Kinder zwar mehr Erfahrung haben, aber nicht die nötige kognitive Kapazität, um die relevanten Faktoren zu isolieren (McCloskey, 1983; McCloskey et al., 1983; Kaiser, Proffitt, & McCloskey, 1985; Schwartz & Black, 1996). Dasselbe konnte auch bei den Gruppen festgestellt werden, die keiner ersichtlichen kognitiven algebraischen Regel nachgingen.

9.4 Praktische Implikationen

Der Befund der Flächen- und Gewichtsmisskonzepte, die im Kindesalter aufgezeigt werden konnten und bis ins Erwachsenenalter bestehen, haben Implikationen für didaktische Konzepte und pädagogische Ansätze. Obschon der Mensch mit "fehlerhaftem" Urteilen behaftet ist, ist er von jungen Jahren an in der Lage, nahezu perfekt mit der Umwelt zu interagieren. Dabei bleibt eine mehrheitlich stabile Kluft zwischen implizitem Handeln und explizitem Wissen bestehen. Diese Wissensdissoziationen werden im Verlauf der schulischen und persönlichen Entwicklung kaum korrigiert und können bis ins Alter bestehen bleiben. Durch mehr praktischem Erleben und bewusstem Erfahren von physikalischen Gesetzen könnte im Entwicklungsverlauf das intuitive Wissen vermehrt miteinbezogen werden und die Kluft zwischen expliziter und impliziter Ebene verkleinert werden. Besonders körperliche Betätigungen nehmen im Alltag der Kinder durch zunehmende Möglichkeiten und Gebrauchs der Medien (Internet, Fernsehen,

Computer) einen geringeren Platz ein, was konträr zu einem praktischen und realitätsnahen Erleben von (mechanischer) Physik steht. Das hat nicht nur Auswirkungen auf die Pädagogik, sondern kann auch auf gesellschaftlicher (Kultur, Sport) und politischer Ebene diskutiert werden. Pädagogik und Bereiche der Psychomotorik können dabei einen wesentlichen Teil dazu beitragen. Veranschaulicht man sich, wie viele Möglichkeiten in der Bewegungsförderung bestehen (Schulen, Vereine, Freizeitgestaltung) und dass die körperliche Aktivität auch einen Einfluss auf die Gesundheit und die kognitive Entwicklung hat, so sollte der Fokus vermehrt darauf gerichtet werden.

9.5 Ausblick

Die vorliegende Arbeit griff als eine von wenigen Studien auf psychologischer Ebene das Thema Reibung und deren kognitive Verarbeitung auf. Die vorliegenden Erkenntnisse können als Einstieg in ein neues Feld der intuitiven Physik angesehen werden, wobei mit der angewendeten Querschnittsstudie ein Ist-Zustand über verschiedene Altersstufen erfasst wurde. Fragen zur Entstehung, dem adaptiven Denken und dem Umgang mit Reibung könnten weitere Inhalte zukünftiger Forschung sein. Will man die Erfahrung und das Lernen im Umgang mit Reibung erfassen, wäre die zu wählende Methode eine Längsschnittstudie oder mit erhöhtem Aufwand eine Sequenzstudie (Wilkening, Freund & Martin, 2008). Die Probanden würden beispielsweise unterschiedliches theoretisches Wissen in Schulen erfahren, durch praktisches Wissen Erfahrungen über die Reibung sammeln oder es würde eine Kombination von Theorie und Praxis angeboten werden. Dabei wären Rückmeldungen und spielerischer Umgang mit Objekten von Wichtigkeit, damit ein Lernprozess stattfinden kann, und beim Durchführen von praxisorientierten Versuchen würde bei jeder Gruppe ein Lerneffekt stattfinden, wobei sich Unterschiede auf kognitiver Ebene abzeichnen würden. Bei praxisnahen Versuchen würden dabei Unterschiede auf impliziter, bei theoretischem Unterricht auf expliziter Ebene erwartet werden. Neben den möglichen Variationen der physikalischen Dimension könnten Forschungsfragen dahingehend gestellt werden, wie sich das Reibungskonzept bei jüngeren Kindern manifestiert, oder über welches implizites Wissen über die Reibung jüngere Kinder verfügen. Dabei müssten die Methoden angepasst werden. Mit der oben genannten Apparatur musste an einem Seil eine schiefe Ebene hochgezogen werden, wobei eine Zugkraft von ca. 1 kg nötig war. Dieser Kraftaufwand ist vielleicht für sehr junge Kinder zu viel, weshalb die Reibung auf andere Art und Weise untersucht werden müsste. Denkbar wären dabei Modelle der Erwartungsverletzungstheorie. Bisher wurden junge Erwachsene untersucht, wobei angenommen

wurde, dass sich die Erwachsenen im impliziten Wissen nicht unterscheiden. Da dies zumindest für das intuitive Reibungsverständnis nicht belegt ist, müsste folglich das Alter der Versuchspersonen dementsprechend erweitert werden. So wäre es ebenso denkbar, ältere Menschen zu intuitiven Vorstellungen über die Reibung zu untersuchen, was von der Methode her einfacher zu gestalten wäre, da wiederum die jetzige Apparatur verwendet werden könnte.

Um pädagogische Ansätze weiter entwickeln zu können und Empfehlungen bezüglich konkreten didaktischen Konzepten zu generieren, müsste vertieft Forschung weiterer physikalischer Aspekte betrieben werden. Dabei wäre es denkbar, die Alltagsrelevanz in den Vordergrund zu stellen und anhand praktischer und alltagsnaher Beispiele die intuitiven Vorstellungen physikalischer Bereiche bei Kindern zu untersuchen. In der vorliegenden Arbeit wurde die Haftreibung isoliert untersucht, wobei in diesem Bereich eine Laborsituation geschaffen wurde, die im Alltag kaum angetroffen wird. Zukünftige Forschungsfragen könnten beispielsweise in die Richtung gehen, dass neben dem Haftreibungskoeffizienten aus dem Alltag bekannte Dimensionen eingeführt und systematisch untersucht würden. Naheliegend wäre die Zugkraft, die im Alltag häufig angetroffen wird, denn von einer Vielzahl der Versuchspersonen wurde die Zugkraft genannt, die nötig wäre, um einen Gegenstand bewegen zu können. Diese physikalische Kraft trifft man im Alltag häufig an, sei es beim Öffnen einer Tür, Heben eines Koffers oder Anziehen einer Schraube. Reibung und Zugkraft sind eng miteinander verbunden. Experimentell könnte dieselbe Apparatur wie oben beschrieben eingesetzt werden, unter Verwendung derselben Quader, die sich in Rauheit und Gewicht unterscheiden. Es könnte dann nach der nötigen Zugkraft als abhängige Variable gefragt werden, wobei zusätzlich die schiefe Ebene in der Steilheit variiert würde (unabhängige Variable).

Neben der Zugkraft ist im Zusammenhang mit der Reibung auch die Beschleunigung ein alltagsrelevanter Aspekt, der sich zu untersuchen lohnen würde. Fragen könnten dabei sein, wie lang der Bremsweg (abhängige Variable) eines fahrenden Autos mit einer gewissen Geschwindigkeit (unabhängige Variable) wäre, wobei die Fahrbahnbeschaffenheit oder das Gewicht des Fahrzeugs mögliche weitere unabhängige Variablen wären. Ebenso wäre es denkbar, dass die "Fahrbahn" in ihrer Oberflächenbeschaffenheit variiert würde, beispielsweise "fest" und "flüssig". Das Auto könnte durch ein Schiff ersetzt werden, wobei weitere Variablen wie der Auftrieb hinzukämen. Dabei könnten die Frage nach der nötigen Zugkraft, um das Schiff ziehen zu können, gestellt werden, womit weitere Forschungsgebiete eröffnet würden.

9.6 Fazit

Aufgrund der Tatsache, dass der Mensch von Geburt an mit Reibung konfrontiert wird, erstaunt es, dass auf expliziter Ebene fehlerhaftes Wissen besteht und die Vorstellungen darüber sehr stabil und zeitüberdauernd bestehen. Die Erforschung des Wissens über die Reibung aus psychologischer Sicht ist gerade aus historischer Sicht aufschlussreich, da bisher Themen untersucht wurden, bei denen eine Entwicklung der kognitiven Algebra in ähnlicher Art und Weise zu beobachten war. Darin konnte häufig eine Entwicklung vom Zentrieren über additiven bis hin zu multiplikativen Verknüpfungen der vorgegebenen Dimensionen festgestellt werden. Diese Entwicklung ist teilweise vereinbar mit den Entwicklungsstufen, die von Piaget beschrieben wurden. Interessant sind deshalb diejenigen physikalischen Gesetze, nach denen auch im Erwachsenenalter zentriert und eine multiplikative Strategie vermieden werden muss.

Besonders interessant sind die Befunde, da der Mensch trotz seiner Bildung und Denkfähigkeit mit Misskonzepten behaftet ist, aber sich im Alltag im Umgang mit den vielen verschiedenen physikalischen Dimensionen dennoch „physikalisch korrekt“ verhält. Dies zeigen schon 6-jährige Kinder, die in handlungsnahen Aufgaben ein den Erwachsenen ebenbürtiges implizites Wissen besitzen und – in Bezug auf die vorliegenden Reibungsexperimente – sogar den normativen Werten am nächsten waren.

10 Literatur

- Anderson, N. H. (1982). *Methods of information integration theory*. New York: Academic Press.
- Anderson, N. H., & Wilkening, F. (1991). *Adaptive thinking in intuitive physics*. In N.H. Anderson (Ed.), *Contributions to information integration theory*. Vol 3: Developmental (pp. 1-42). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Andersson, B. & Kärrqvist, C. (1983). How Swedish pupils aged 12-15 years understand light and its properties. *International Journal of Science Education*, 5(4), 387-402.
- Van Boven, R. W., Hamilton, R. H., Kauffman, T., Keenan, J. P., & Pascual-Leone, A. (2000). Tactile spatial resolution in blind Braille readers. *Neurology*, 54, 2230-2236.
- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B. (1981). Naïve beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, 119-123.
- Catrambone, R., Jones, C.M., Jonides, J., & Seifert, C. (1995). Reasoning about curvilinear motion: Using principles or analogy. *Memory and Cognition*, 23(3), 368-373.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 1074-1079.
- Clement, J. (1981). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Association of Physics Teachers*, 50(1), 66-71.
- Cohen, H. H., & Cohen, D. M. (1994a). Psychophysical assessment of the perceived slipperiness of floor tile surfaces in a laboratory setting. *Journal of Safety Research*, 25(1), 19-26.
- Cohen, H. H., & Cohen, D. M. (1994b). Perceptions of walking surface slipperiness under realistic conditions, utilizing a slipperiness rating scale. *Journal of Safety Research*, 25(1), 27-31.
- Corneli, E., & Vicovaro, M. (2007). Intuitive cognitive algebra of sliding friction. *Theorie & Modelli*, 7, 133-142.
- Dotzler, M., & Butzin, C. (1988). Cognitive requirements of ulterior motive information usage: Individual child analyses. *Journal of Experimental Child Psychology*, 46, 88-99.
- Fechner, G. T. (1889). *Elemente der Psychophysik, Teil 1*. Leipzig: Breitkopf & Härtel.
- Fetherstonhaugh, T., & Treagust, D. F. (1992). Student's understanding of light and its properties: Teaching to engender conceptual change. *Science Education*, 76, 653-672.
- Frick, A. Daum, M. M., Wilson, M. & Wilkening, F. (2009). Effects of action on children's and adults' mental imagery. *Journal of Experimental Child Psychology*, 104, 34-51.
- Frick, A., Huber, S., Reips, U. D., & Krist, H. (2005). Task-specific knowledge of the law of pendulum motion in children and adults. *Swiss Journal of Psychology*, 64(2), 103-114.

- Frick, A., Rapp, A. F., Hug, S., Oláh, D. L. & Diggelmann, A. (2006). Keine Haftung: Intuitives Wissen über Haftreibung bei Kindern und Erwachsenen. *Poster Teap*.
- Ginsburg, H., & Oppen, S. (1989). *Piagets Theorie der geistigen Entwicklung*. Stuttgart: Klett-Corra.
- Hollins, M. & Bensmaïa, S. J. (2007). The coding of roughness. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 61(3), 184-195.
- Huber, S. Krist, H. & Wilkening, F. (2003). Judgement and action knowledge in speed adjustment tasks: Experiments in a virtual environment. *Developmental Science*, 6, 197-210.
- Joh, A. S., Adolph, K. E., Campbell, M. R. & Eppler, M. A. (2006). Why walkers slip: Shine is not a reliable cue for slippery ground. *Perception & Psychophysics*, 68, 339-352.
- Joh, A. S., Adolph, K. E., Narayanan, P. & Dietz, V. (2007). Gauging possibilities for action based on friction underfoot. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 33(5), 1145-1157.
- Jung, W. (1987). Understanding students' understanding: The case of elementary optics. In J.D. Novak (Ed.), *Proceedings of the Second International Seminar: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, 3. 268-277. Ithaca, NY: Cornell University.
- Kaiser, M. K., McCloskey, M. E., & Proffitt, D. R. (1986). Development of intuitive theories of motion: Curvilinear motion in the absence of external forces. *Developmental Psychology*, 22(1), 67-71.
- Kaiser, M. K., Jonides, J. & Alexander, J. (1986). Intuitive reasoning about abstract and familiar physics problems. *Memory and Cognition*, 14(4), 308-312.
- Kaiser, M. K., Proffitt, D. R. & McCloskey, M. (1985). The development of beliefs about falling objects. *Perception and Psychophysics*, 38(6), 533-539.
- Krist, H., Fieberg, E.L., & Wilkening, F. (1993). Intuitive physics in action and judgment: The development of Knowledge about projectile motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19(4), 952-966.
- Langley, D., Ronen, M. & Eylon, B. (1997). Light propagation and visual patterns: preinstruction learners' conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 399-424.
- McDermott, L. C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 24-32.
- McCloskey, M. E. (1983). Intuitive Physics. *Scientific American*, 248(4), 122-130.
- McCloskey, M. E., Washburn, A. & Felch, L. (1983). Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 636-649.

- Newton, I. (1687). *Philosophiae naturalis principia mathematica*. London. Bd. 1, Tomus Primus.
- Piaget, J. (1970). Piaget's Theory. In P.H. Mussen (Ed.). *Carmichael's manual of child psychology: Vol. 1 History, theory, and methods*, (pp. 703-732). New York: Wiley.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1972). *Die Psychologie des Kindes* (L. Häfliger Übers.). Walter Verlag AG, Olten. Presses Universitaires de France, Paris. (Original 1966).
- Rumelhart, D. E. (1989). Toward a microstructural account of human reasoning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Hrsg.), *Similarity and analogical reasoning*, (pp. 298ff) Cambridge: Cambridge University Press.
- Sathian, K. (2000). Practice makes perfect: Sharper tactile perception in the blind. *Neurology*, 54, 2203-2204.
- Schwartz, D. L. & Black, J. B. (1996). Shuttling between depictive models and abstract rules: Induction and fallback. *Cognitive Science*, 20, 457-497.
- Schwartz, D. L. & Black, T. (1999). Inferences through imagined actions: Knowing by simulated doing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(1), 116-136.
- Siegler, R. S. (1981). *Developmental sequences within and between concepts*. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 46(2, Serial 189).
- Siegler, R. S. & Richards, D. D. (1979). Development of time, speed, and distance concepts. *Development Psychology*, 15, 288-298.
- Stead, B. F. & Osborne, R. J. (1980). Exploring students' concepts of light. *Australian science teachers journal*, 26(3), 84-90.
- Tipler, P. A. (2004). *Physik*. Gerlich, D. & Götz, J. (Eds.). Heidelberg, Berlin, Oxford. Spektrum Akademischer Verlag.
- Turvey, M. T., Solomon, H. Y. & Burton, G. (1989). An ecological analysis of knowing by wielding. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, 52, 387-407.
- Vergara-Caffarelli, R. (2009). Galileo Galilei and motion: A reconstruction of 50 years of experiments and discoveries. Berlin: Springer. (Original von Galileo Galilei erschienen 1627: *De motu locali*).
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.
- Wellman, H. M. & Gelman, S. A. (1992). *Annual Review of Psychology*, 43, 337-375.
- Wilkening, F. (1981). Integrating velocity, time, and distance information: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 12, 231-247.

Wilkening, F., Huber, S. & Cacchione, T. (2006). *Intuitive Physik im Kindesalter*. In W. Schneider & B. Sodian (Eds.), *Enzyklopädie der Psychologie: Entwicklung*, Vol. 2, Kognitive Entwicklung (pp. 823-859). Göttingen: Hogrefe.

Wilkening, F. & Anderson, N. H. (1982). Comparison of two rule-assessment methodologies for studying cognitive development and knowledge structure. *Psychological Bulletin*, 92, 215-237.

Wilkening, F. & Anderson, N. H. (1991). *Representation and diagnosis of knowledge structures in developmental psychology*. In N. H. Anderson (Ed.), *Contributions to information integration theory: Vol 3. Developmental* (pp. 45-80). Hillsdale, NJ. Erlbaum.

Wilkening, F., Freund, A. M. & Martin, M. (2008). *Entwicklungspsychologie. Workbook*. Weinheim, Basel: Beltz.

Wilkening, F., Levin, I. & Druyan, S. (1987). Children's counting strategies for time quantification and integration. *Developmental Psychology*, 23, 823-831.

Yalcin, M., Altun, S., Turgut, U. & Aggöl, F. (2009). First year Turkish science undergraduates' understandings and misconceptions of light. *Science and Education*, 18, 1083-1093.

Yates, J., Bessman, M, Dunne, M, Jertson, D., Sly, K. & Wendelboe, B. (1988). Are conceptions of motion based on a naïve theory or on prototypes? *Cognition*, 29, 251-275.

11 Anhang

Tabelle 11-1 Experiment 1a Prozentuale Anteile der intuitiven Regeln

	Knaben	Mädchen	Männer	Frauen
Rauheit	25% ($n = 5$)	45% ($n = 9$)	40% ($n = 8$)	50% ($n = 10$)
Gewicht	10% ($n = 2$)	15% ($n = 3$)	10% ($n = 2$)	0% ($n = 0$)
additiv	5% ($n = 1$)	10% ($n = 2$)	35% ($n = 7$)	10% ($n = 2$)
multiplikativ	0% ($n = 0$)	5% ($n = 1$)	5% ($n = 1$)	0% ($n = 0$)
keine Regel	60% ($n = 12$)	25% ($n = 5$)	10% ($n = 2$)	40% ($n = 8$)

Tabelle 11-2 Experiment 1a Prozentuale Nennungen der relevanten Faktoren

	Kinder	Erwachsene
Rauheit	10% ($n = 2$)	4.5% ($n = 1$)
Rauheit und Fläche	35% ($n = 7$)	4.5% ($n = 1$)
Rauheit und Gewicht	5% ($n = 1$)	13.6% ($n = 3$)
alle Faktoren	50% ($n = 10$)	77.4% ($n = 17$)

Tabelle 11-3 Experiment 1b Prozentuale Nennungen der relevanten Faktoren

	Kinder	Erwachsene
Rauheit	0% ($n = 0$)	20% ($n = 4$)
Rauheit und Fläche	10% ($n = 2$)	30% ($n = 6$)
Rauheit und Gewicht	10% ($n = 2$)	10% ($n = 2$)
Fläche	0% ($n = 0$)	5% ($n = 1$)
alle Faktoren	80% ($n = 16$)	35% ($n = 7$)

Tabelle 11-4 Experiment 2a Prozentuale Anteile der intuitiven Regel

	Kinder	Erwachsene
Rauheit	40% ($n = 8$)	40% ($n = 8$)
Gewicht	5% ($n = 1$)	0% ($n = 0$)
additiv	0% ($n = 0$)	20% ($n = 4$)
multiplikativ	0% ($n = 0$)	5% ($n = 1$)
keine Regel	55% ($n = 11$)	35% ($n = 7$)

Tabelle 11-5 Experiment 2a Prozentuale Nennung der relevanten Faktoren

	Kinder	Erwachsene
Rauheit	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)
Rauheit und Fläche	10% ($n = 2$)	0% ($n = 0$)
Rauheit und Gewicht	25% ($n = 5$)	10% ($n = 2$)
alle Faktoren	65% ($n = 13$)	90% ($n = 18$)

Tabelle 11-6 Experiment 2b Prozentuale Anteile der intuitiven Regel

	Kinder	Erwachsene
Rauheit	35% ($n = 14$)	45% ($n = 18$)
Gewicht	12.5% ($n = 5$)	5% ($n = 2$)
additiv	7.5% ($n = 3$)	22.5% ($n = 9$)
multiplikativ	2.5% ($n = 1$)	2.5% ($n = 1$)
keine Regel	42.5% ($n = 17$)	25% ($n = 10$)

Tabelle 11-7 Experiment 2b Prozentuale Nennung der relevanten Faktoren

	Kinder	Erwachsene
Rauheit	0% ($n = 0$)	10% ($n = 4$)
Fläche	0% ($n = 0$)	2.5% ($n = 1$)
Rauheit und Fläche	10% ($n = 4$)	15% ($n = 6$)
Rauheit und Gewicht	17.5% ($n = 7$)	10% ($n = 4$)
alle Faktoren	72.5% ($n = 29$)	62.5% ($n = 25$)

Tabelle 11-8 Experiment 2c Prozentuale Anteile der intuitiven Regeln

	6-7-jährige	8-9-jährige	10-11-jährige	12-13-jährige	Erwachsene
Rauheit	32.55 ($n = 13$)	27.5% ($n = 11$)	30% ($n = 18$)	20% ($n = 8$)	45% ($n = 18$)
Gewicht	12.5% ($n = 5$)	15% ($n = 6$)	5% ($n = 3$)	10% ($n = 4$)	5% ($n = 2$)
additiv	2.5% ($n = 1$)	12.5% ($n = 5$)	8.3% ($n = 5$)	12.5% ($n = 5$)	22.5% ($n = 9$)
multiplikativ	0% ($n = 0$)	5% ($n = 2$)	3.3% ($n = 2$)	2.5% ($n = 1$)	2.5% ($n = 1$)
keine Regel	52.5% ($n = 21$)	40% ($n = 12$)	20% ($n = 12$)	55% ($n = 22$)	25% ($n = 10$)

Tabelle 11-9 Experiment 2c Prozentuale Nennungen der relevanten Faktoren

	6-7-jährige	8-9-jährige	10-11-jährige	12-13-jährige	Erwachsene
Rauheit	2.5% ($n = 1$)	0% ($n = 0$)	5% ($n = 1$)	0% ($n = 0$)	10% ($n = 4$)
Fläche	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)	2.5% ($n = 1$)
Gewicht	2.5% ($n = 1$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)
Rauheit und Fläche	10% ($n = 4$)	5% ($n = 2$)	2.5% ($n = 1$)	10% ($n = 4$)	15% ($n = 6$)
Rauheit und Gewicht	25% ($n = 10$)	35% ($n = 14$)	15% ($n = 6$)	17.5% ($n = 7$)	10% ($n = 4$)
Fläche und Gewicht	2.5% ($n = 1$)	5% ($n = 2$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)
kein Faktor	2.5% ($n = 1$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)
alle Faktoren	55% ($n = 22$)	55% ($n = 22$)	80% ($n = 32$)	72.5% ($n = 29$)	62.5% ($n = 25$)

Tabelle 11-10 Experiment 3c Prozentuale Anteile der intuitiven Regeln

	6-7-jährige	8-9-jährige	10-11-jährige	12-13-jährige	Erwachsene
Winkel	50% ($n = 20$)	55% ($n = 22$)	50% ($n = 20$)	70% ($n = 28$)	57.5% ($n = 23$)
Gewicht	0% ($n = 0$)	2.5% ($n = 1$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)	0% ($n = 0$)
additiv	10% ($n = 4$)	12.5% ($n = 5$)	15% ($n = 6$)	12.5% ($n = 5$)	22.5% ($n = 9$)
multiplikativ	30% ($n = 12$)	17.5% ($n = 7$)	17.5% ($n = 7$)	10% ($n = 4$)	17.5% ($n = 7$)
keine Regel	10% ($n = 4$)	12.5% ($n = 5$)	17.5% ($n = 7$)	7.5% ($n = 3$)	2.5% ($n = 1$)

12 Curriculum Vitae

Personalien

Name:	Marc Schwind	Geburtsdatum:	16. Juni 1978
Adresse:	Zentralstr. 110 8212 Neuhausen	Zivilstand:	ledig
		Nationalität:	Schweiz
Telefon:	++41/ (0)52 620 46 66		
E-Mail:	mschwind@bluewin.ch		

Schulische Ausbildung / Berufliche Tätigkeiten

1985 - 1994	Primar-/ Sekundarschule Schaffhausen
1994 - 1998	Kantonsschule Schaffhausen, Matura Typus B (Latein)
WS 1999 - SS 2003	Psychologiestudium (Grundstudium), Universität Zürich
WS 2003 - SS 2007	Psychologiestudium (Fachstudium, Lizentiat), Universität Zürich Abschluss in Neuropsychologie, Psychopathologie, Neurowissenschaften/Neurobiologie (ETH Zürich)
seit Juli 2007	Doktorat am Psychologischen Institut, Abteilung für Allgemeine und Entwicklungspsychologie, Lehrstuhl Prof. Dr. Friedrich Wilkening, Universität Zürich Fachkoordinator für den europäischen studentischen Austausch (ERASMUS)
seit September 2009	Psychologe, Kantonspolizei Luzern Fachgruppe Sexualdelikte
seit März 2010	Neuropsychologe, Spitäler Schaffhausen Kantonsspital/Memory Clinic Abteilung für Geriatrie/Rehabilitation

Berufliche Praktika und Weiterbildungen

1999	
Mai - August	Sprachliche Weiterbildung in Edinburgh, Schottland Sprachaufenthalt an der International Language Academy Edinburgh

2004
9.2 – 20.3. Forschungspraktikum bei Prof. Dr. med. Dr. phil. Andreas Maercker
Universität Zürich, Abteilung für Psychopathologie und Klinische Intervention
Themenschwerpunkt: EEG-Alphaasymmetrien bei Posttraumischer Belastungsstörung

2004
26.7. – 20.8.
13.9. – 8.10 klinisches Praktikum
bei PD Dr. phil. Urs Gerhard
Psychiatrische Universitätsklinik Basel, Psychologischer Dienst und Verkehrspsychologie

2004/05
1.12.04 – 28.2.05 klinisches Praktikum
bei PD Dr. Peter Brugger und Prof. Dr. Marianne Regard
Universitätsspital Zürich, Abteilung für Neuropsychologie

Militärische Aus-/Weiterbildungen

1999 – 2000 Militär, Grundausbildung und Führungsausbildung (Korporal)

2001-2008 diverse Wiederholungskurse WKs

Oktober 2008 Fachoffizierskurs Psychologisch-Pädagogischer Dienst der Armee PPD

seit 2009 Fachoffizier (Oblt) Psychologisch-Pädagogischer Dienst der Armee PPD
Mitglied des Care-Teams der Armee / Notfallpsychologie

2009-2010 diverse Weiterbildungen in Notfallpsychologie (FSP/BABS)

Ausserschulische Aktivitäten / Ausbildungen

1993 –2002 Leiter Jungwacht Schaffhausen, I&S Leiter I: Wandern- und Geländesport

2002 –2004 Musikalischer Leiter Clairongarde Schaffhausen

1997 – 2008 Instruktor Kletterzentrum ARANEA Schaffhausen

Seit 2004 Gründung und Leitung des "Uilleann Pipers Club Schaffhausen UPCS"; Musikausbildung an traditionellen irischen Instrumenten und Musiktheorie.